

Académie royale
des
Sciences d'Outre-Mer

—
CLASSE
DES SCIENCES TECHNIQUES

—
Mémoires in-8°. Nouvelle série.
Tome XV, fasc. 4.

Koninklijke Academie
voor
Overzeese Wetenschappen

—
KLASSE
VOOR TECHNISCHE WETENSCHAPPEN

—
Verhandelingen in-8°. Nieuwe reeks.
Boek XV, alev. 4.

DE LANGSSTERKTE VAN BINNENSCHEPEN

DOOR

E. CUYPERS

BURGERLIJK SCHEEPSBOUWKUNDIG INGENIEUR
LECTOR AAN DE UNIVERSITEIT TE LEUVEN
INGENIEUR BIJ HET KLASSIFIKATIEBUREAU UNITAS

Bekroonde verhandeling van de jaarlijkse wedstrijd 1961 der K.A.O.W.



Rue de Livourne, 80A,
BRUXELLES 5

Livornostraat, 80A,
BRUSSEL 5

1962

PRIX : F 80
PRIJS:

DE LANGSTERKTE VAN BINNENSCHEPEN

DOOR

E. CUYPERS

BURGERLIJK SCHEEPSBOUWKUNDIG INGENIEUR
LECTOR AAN DE UNIVERSITEIT TE LEUVEN
INGENIEUR BIJ HET KLASSIFIKATIEBUREAU UNITAS

Bekroonde verhandeling van de jaarlijkse wedstrijd 1961 der K.A.O.W.

Verhandeling bekroond in de jaarlijkse wedstrijd 1961
Verslaggevers : de HH. L. TISON en R. SPRONCK.

LA RIGIDITÉ LONGITUDINALE DES BATEAUX D'INTÉRIEUR

RÉSUMÉ

Le poids et le prix d'un bateau d'intérieur dépendent principalement de la grandeur des moments fléchissants auxquels la coque doit résister.

Pourtant, étant donné la difficulté et la longueur des calculs, la rigidité longitudinale d'un bateau n'est pratiquement jamais vérifiée.

Dans cette étude, après un aperçu rapide de la théorie classique, on trouve :

— Des données concernant des avaries qui se sont produites à deux barges navigant sur le fleuve Congo, suite à un manque de rigidité longitudinale ; les tensions qui ont provoqué le flambement du pont sont comparées à celles obtenues par la formule de Montgommerie (chapitre III) ;

— Une étude statistique de la rigidité longitudinale basée sur les prescriptions du bureau de classification Germanischer Lloyd ; les formules obtenues sont comparées aux types de bateaux les plus importants navigant en Europe et au Congo (chapitre V) ;

— Des diagrammes permettant le calcul rapide des moments fléchissants dans la coque d'un bateau (chapitre VII).

DE LANGSSTERKTE VAN BINNENSCHEPEN

SAMENVATTING

De nauwkeurige berekening van de langsterkte van een scheepsbalk is op dit oogenblik nog niet mogelijk, in de eerste plaats bij gebrek aan voldoende gegevens betreffende de toelaatbare spanningen.

Terwijl voor zeeschepen reeds enkele proeven werden uitgevoerd, waarbij de romp werd gebroken door en gekend buigmoment en de overeenkomstige spanningen gemeten, werd, betreffende binnenschepen, tot nog toe praktisch niets gepubliceerd.

In onderhavige studie vindt men, benevens een korte uiteenzetting van de algemene theorie, de volgende praktische gegevens betreffende de langsterkte van binnenschepen :

— De buigmomenten welke de breuk veroorzaakten van twee lichters op de Congostroom en een vergelijking van de overeenkomstige knikspanningen in het dek met de formule van MONTGOMMERIE (hoofdstuk III) ;

— De berekening van een empirische formule voor de langsterkte aan de hand van een groot aantal schepen welke voldoening hebben gegeven, zowel in Congo als in Europa (hoofdstuk V) ;

— Een berekeningsmethode welke toelaat binnen een beperkte tijd een zeer groot aantal momentenlijnen te berekenen (hoofdstuk VII).

INLEIDING

In het algemeen worden voor binnenschepen, evenals voor zeeschepen, geen berekeningen gemaakt betreffende de langsterkte.

Deze berekeningen immers zijn tamelijk langdradig. Daarbij is het op dit ogenblik, ondanks vele theoretische en experimentele opzoekingen, nog niet mogelijk met nauwkeurigheid het buigmoment te berekenen waaraan een scheepsromp kan weerstaan.

Het is zelfs moeilijk te bepalen aan welk moment de romp zou moeten kunnen weerstaan. Dit moment hangt af van de manier waarop het schip wordt beladen. Indien echter de reder wordt ondervraagd betreffende de meest ongunstige ladingstoestanden zal hij in vele gevallen slechts vage aanduidingen kunnen verstrekken.

De afmetingen van de verbanddelen van een schip worden dan ook meestal vastgelegd voortgaande op bestaande schepen waarvan de langsterkte voldoening heeft gegeven of door gebruik te maken van de voorschriften van klassifikatiebureaux, welke eveneens op de ondervinding gebaseerd zijn.

Wanneer men de scheepsbouwer vraagt hoe het schip moet geladen worden, m. a. w. welk het maximum toelaatbaar buigmoment is, zal hij veelal het antwoord schuldig blijven.

Anderzijds komt het voor dat een schipper, welke nooit heeft horen spreken van buigmomenten of spanningen, beter weet hoe hij zijn schip mag laden dan de ontwerper ervan.

Een goede schipper let, gedurende het laden of lossen van zijn schip, op het gedrag van de dekplaten of de denneboom. Hij controleert de doorbuiging van de scheepsromp door de diepgang te meten de uiteinden en in het midden van het schip. Voor iemand met ervaring volstaan deze aanwijzingen om met min of meer nauwkeurigheid te kunnen bepalen wanneer het schip in gevaar komt.

Men kan zich de vraag stellen of het dan wel zin heeft de langsterkte van een binnenschip te willen berekenen. Deze berekeningen zijn inderdaad nuttig om de volgende redenen :

1) Wanneer aan een nieuw schip speciale eisen gesteld worden, kunnen de afmetingen enkel door berekening worden bekomen ;

2) Indien men op het oogenblik over weinig ervaring beschikt, is dit voor een groot deel het gevolg van het feit dat men nooit veel berekeningen heeft gemaakt ;

3) Het feit dat af en toe schepen doorbreken in gevolge een onoordeelkundige belading, bewijst dat het in sommige gevallen nuttig is meer aandacht aan de langsterkte te besteden ;

4) Het gewicht en de kostprijs van een scheepsromp wordt, voor een gegeven displacement, in de eerste plaats bepaald door de langsterkte welke moet verwezenlijkt worden.

HOOFDSTUK I

Algemene gang der sterkteberekening.

De berekening van de langssterkte van een schip geschiedt in principe zoals de berekening van een gewone balk. Het enige verschil is dat het schip niet rust op enkele gelocaliseerde steunpunten maar dat het min of meer gelijkmatig wordt gedragen over zijn ganse lengte door de opwaartse druk van het water.

Men berekent eerst het totaal gewicht van het schip en het zwaartepunt. Dit laat toe, met behulp van de hydrostatische krommen, de diepgang en de trim van het schip te vinden.

Daarna wordt het displacement per strekkende meter, ϕ_0 , uitgezet in funktie van de scheepslengte. Indien men zinnens is de berekeningen te herhalen voor verschillende ladingstoestanen, is het nuttig de BONJEAN-krommen te tekenen, welke het oppervlak der spanten aangeven in funktie van de diepgang. De BONJEAN-krommen laten toe onmiddellijk de ϕ_0 -kromme te tekenen, wanneer de gemiddelde diepgang en de trim gekend zijn.

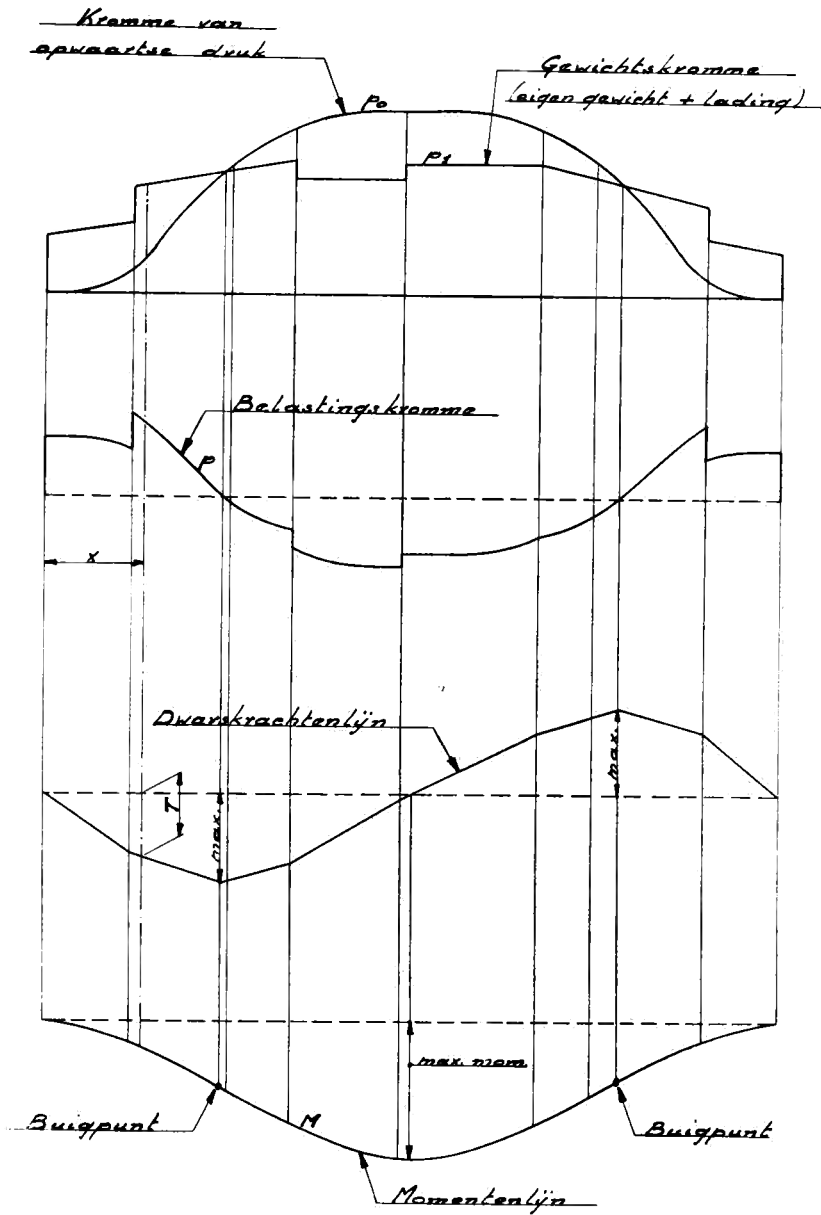
Op dezelfde basis als de ϕ_0 -kromme, tekent men de kromme ϕ_1 , welke het gewicht per strekkende meter van het schip aangeeft (*fig. 1*).

De belasting ϕ van de scheepsbalk, in ton/m, wordt bekomen door het verschil te berekenen tussen de twee voorgaande krommen :

$$\phi = \phi_1 - \phi_0 \quad (1)$$

De dwarskracht T, in ton, in een punt met abscis x , wordt bekomen door de integratie van de ϕ -kromme tot het punt x :

$$T = \int_0^x \phi dx. \quad (2)$$

FIG. 1. — Berekening van p - T - en M -lijn.

De integratie van de T-kromme geeft de momentenlijn M :

$$M = \int_0^x T dx = \int_0^x \int_0^x p dx dx. \quad (3)$$

Wanneer de berekeningen nauwkeurig zijn uitgevoerd, heeft men, voor $x = L$, $T = M = 0$.

De doorbuiging y van het schip wordt berekend bij middel van de volgende formule :

$$y = \int_0^x \int_0^x \frac{M}{EI} dx dx \quad (4)$$

waarin : E = elasticiteitsmodulus van het staal.

I = traagheidsmoment van de doorsnede van de scheepsbalk.

HOOFDSTUK II

Toelaatbare spanning.

Wanneer men het maximum moment berekend heeft bij middel van formule (3) moet men nagaan of de scheepsromp hier tegen bestand is. Zoals voor elke andere balk bekomt men de spanning σ in ton/cm² bij middel van de formule :

$$\sigma = \frac{100 M}{I/V} \quad (5)$$

waarin : M = buigmoment in ton m.

I/V = Weerstandsmodulus van de scheepsbalk in cm³.

De grote moeilijkheid is nu, dat men niet juist weet welke de maximum toelaatbare spanning is.

In principe mag in een konstruktie de elasticiteitsgrens van het materiaal nooit worden overschreden.

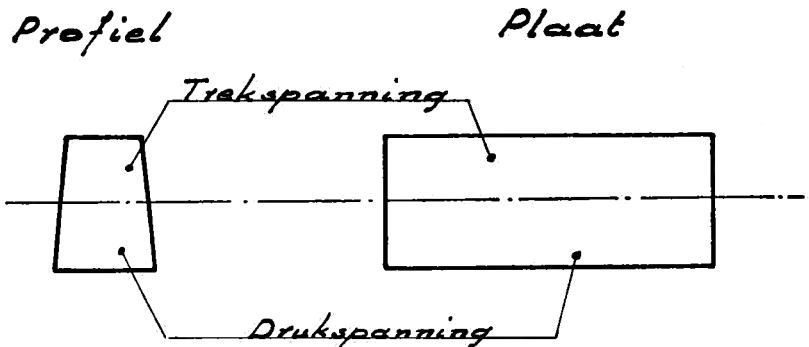


FIG. 2. — Vervorming bij het uitknikken van een profiel en van een plaat.

Het in de scheepsbouw gebruikte staal heeft meestal een breukspanning begrepen tussen 3,7 en 5,0 t/cm². Hiermede komt

een elasticiteitsgrens overeen welke schommelt tussen 2,1 en 3,2 t/cm². Als gemiddelde waarde mag men 2,5 t/cm² nemen. Om de toelaatbare spanning te bekomen moet men nu nog delen door een veiligheidscoëfficiënt welke des te kleiner mag zijn naarmate het buigmoment en de weerstandsmodulus beter gekend zijn.

Voor zeeschepen worden, door verschillende auteurs, toelaatbare spanningen aangegeven welke variëren tussen 1,0 en 1,2 t/cm² voor schepen van 100 m lengte en tussen 1,5 en 2,0 t/cm² voor schepen van 250 m lengte.

Wanneer het drukspanningen betreft, moet ook rekening gehouden worden met het uitknikken der huidplaten tussen de spanten. Daar in binnenschepen de huidplaten betrekkelijk dun zijn t.o.v. de spantafstand, ligt de knikspanning meestal zeer laag. Het is dan ook ten gevolge van het uitknikken der huidplaten dat de meeste schepen begeven.

Zoals men weet, wordt de knikspanning σ_k , in t/cm², voor een profiel bekomen door de formule van EULER :

$$\sigma_k = \frac{\pi^2 EI}{l^2 F} \quad (6)$$

waarin : E = elasticiteitsmodulus = 2 100 t/cm²

I = traagheidsmoment in cm³

l = kniklengte in cm

F = doorsnede en cm².

Voor een plaat met een dikte van t cm wordt dit :

$$\sigma_k = \frac{\pi E t^2}{12 l^2} \quad (7)$$

De formule van EULER is echter niet toepasselijk op platen, daar deze bij het uitknikken zich niet kunnen vervormen zoals een profiel (*fig. 2*).

Voor brede platen moet formule (7) als volgt worden geschreven :

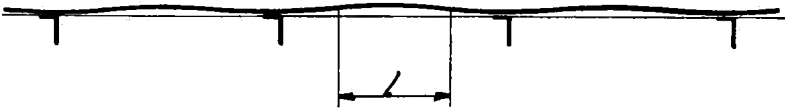
$$\sigma_k = \frac{\pi^2 E t^2}{12 l^2 (1 - m^2)} \quad (8)$$

waarin : m = coëfficiënt van POISSON = 0,33 voor scheepsbouwstaal.

Men kan zich nu de vraag stellen of men de huidplaten moet beschouwen als zijnde opgelegd ter plaatse van de spanten of ingeklemd.

Wanneer de spanten zeer stijf zijn t.o.v. de huidplaten, zal het uitknikken geschieden zoals voorgesteld in *fig. 3a*. In dit geval is de kniklengte in formule (8) gelijk aan de halve spant-afstand.

a) Stijve spanten.



b) Niet stijve spanten.

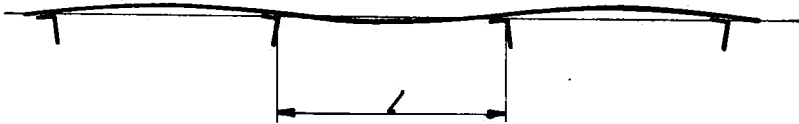


FIG. 3. — Uitknikken van huidplaten.

Wanneer de spanten weinig stijf zijn t.o.v. de huidplaten, hetgeen meestal het geval is in de praktijk, geschiedt de vervorming zoals in *fig. 3b*. Dit is ook nog waar voor de bodemplaten, welke zijdelings belast zijn door de waterdruk. Het uitknikken geschiedt daar om de twee spanten tegen de waterdruk in. Zoals JAEGER ⁽¹⁾ heeft aangetoond, wordt de knikspanning praktisch niet beïnvloed door de waterdruk [2] *.

Bij het uitknikken volgens *fig. 3b* moet men rekening houden

* De getallen tussen [] verwijzen naar de bibliografie *in fine*.

⁽¹⁾ H.-E. JAEGER, professor in de scheepsbouwkunde aan de Technische Hogeschool te Delft.

met het verdraaien der spanten. Volgens SCHNADEL ⁽¹⁾ zou hierdoor de weerstand tegen uitknikken met ongeveer 10 % verhoogd worden.

De formule (8) is slechts geldig voor brede platen waarvan de randen niet ondersteund zijn.

In een schip zijn er steeds een aantal langsversterkingen aanwezig welke de platen verstijven tegen uitknikken. In een geklonken schip zijn volgens SCHNADEL zelfs de klinknaden als langsversterkingen te beschouwen.

Voor een plaat, welke opgelegd is langs de vier randen, worden de knikspanningen gegeven door de volgende formule :

$$\sigma_k = \frac{\pi^2 E t^2}{12 l^2 (1 - m^2)} \left(1 + \frac{l^2}{b^2} \right) \quad (9)$$

waarin : b = dwarsscheepse afmeting van de plaat.

Tabel I geeft een overzicht van de knikspanningen berekend volgens formule (9) in functie van de plaatdikte en de breedte voor een spantafstand van 50 cm.

Tabel I. — Knikspanning in kg/cm²
berekend volgens formule (9) voor een spantafstand van 50 cm.

Plaatdikte in mm	Afstand tussen langsversterkingen in cm					Knikspanning volgens MONTGOMMERIE
	50	75	100	200	∞	
3,0	280	145	109	79	70	320
3,5	380	199	149	108	95	392
4,0	496	259	194	140	124	480
4,5	628	328	246	178	157	568
5,0	776	404	303	219	194	655
6,0	1 116	582	436	315	279	826
7,0	1 520	792	594	429	380	994
8,0	1 984	1 034	775	560	496	1 165
10,0	3 100	1 618	1 211	875	775	1 425
12,0	4 434	2 330	1 745	1 260	1 116	1 642

⁽¹⁾ G. SCHNADEL, professor aan de Technische Hogeschool te Hamburg, president van *Germanischer Lloyd*.

Uit deze tabel blijkt dat in binnenschepen in het algemeen de knikspanningen zeer laag zijn. Indien men op deze spanningen nog de gebruikelijke veiligheidscoëfficiënten zou toepassen, zou men tot merkkelijk grotere plaatdikten komen dan deze welke in de praktijk aangenomen worden.

In werkelijkheid is het schip in de meeste gevallen nog geheel niet in gevaar wanneer in de huidplaten de spanningen optreden welke voorkomen in *Tabel I*. Op dit ogenblik beginnen de platen uit te knikken, maar deze vervorming is een elastische en verdwijnt bij afnemende belasting. Indien het buigmoment toeneemt knikken de platen niet verder uit, daar ter plaatse van de langsversterkingen de knikgrens nog op verre na niet bereikt is. Het is alleen in deze elementen dat de spanningen toenemen. De langsterkte van het schip komt eerst in gevaar wanneer ook in de langsversterkingen de knikspanning bereikt is. Op dit ogenblik zijn de vervormingen in de huidplaten nog zo klein dat zij nog elastisch zijn en dus weer terug verdwijnen wanneer het buigmoment afneemt.

Om het buigmoment te kunnen berekenen dat het schip in gevaar brengt, zou men dus de spanningsverdeling moeten kennen in de scheepsromp op het ogenblik dat de knikspanning bereikt is in de elementen waar het uitknikken gepaard gaat met plastische vervormingen.

Voor zover bekend, werden nooit gegevens gepubliceerd welke toelaten op deze manier de langsterkte van schepen te berekenen. Wel vindt men gegevens betreffende de gemiddelde spanning welke in verband met formule (5) mag gebruikt worden. In dit opzicht is het werk van MONTGOMMERIE zeer interessant [3].

HOOFDSTUK III

De formule van MONTGOMMERIE.

MONTGOMMERIE heeft een aantal knikproeven uitgevoerd met platen welke aan de uiteinden ingeklemd waren tussen twee hoekstalen (*fig. 4*).

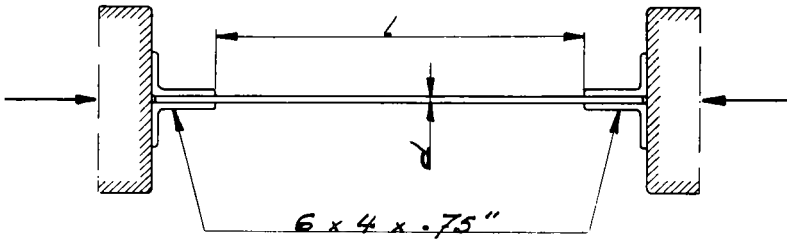


FIG. 4. — Knikproeven volgens MONTGOMMERIE.

Volgens deze onderzoeker bestaat er tussen de knikspanning σ_k in Eng. ton per vierkante duim en de verhouding l/t het volgende verband :

$$\sigma_k = \frac{18}{1 + \frac{1}{950} \left(\frac{l}{t}\right)^{1,75}} \quad (10)$$

Dit verband is grafisch voorgesteld in *fig. 5*.

Indien MONTGOMMERIE niet verder was gegaan zou zijn publicatie waarschijnlijk reeds lang vergeten zijn, daar er weinig verband bestaat tussen de konstruktie van *fig. 4* en een werkelijk schip.

Het interessante van het werk van MONTGOMMERIE ligt hierin dat hij ook de spanningen berekend heeft in 30 zeeschepen, waarvan de dekplaten begeven hebben in een storm, en deze vergeleken heeft met formule (10). Voor l/t werd natuurlijk de verhouding spantafstand/plaatdikte genomen.

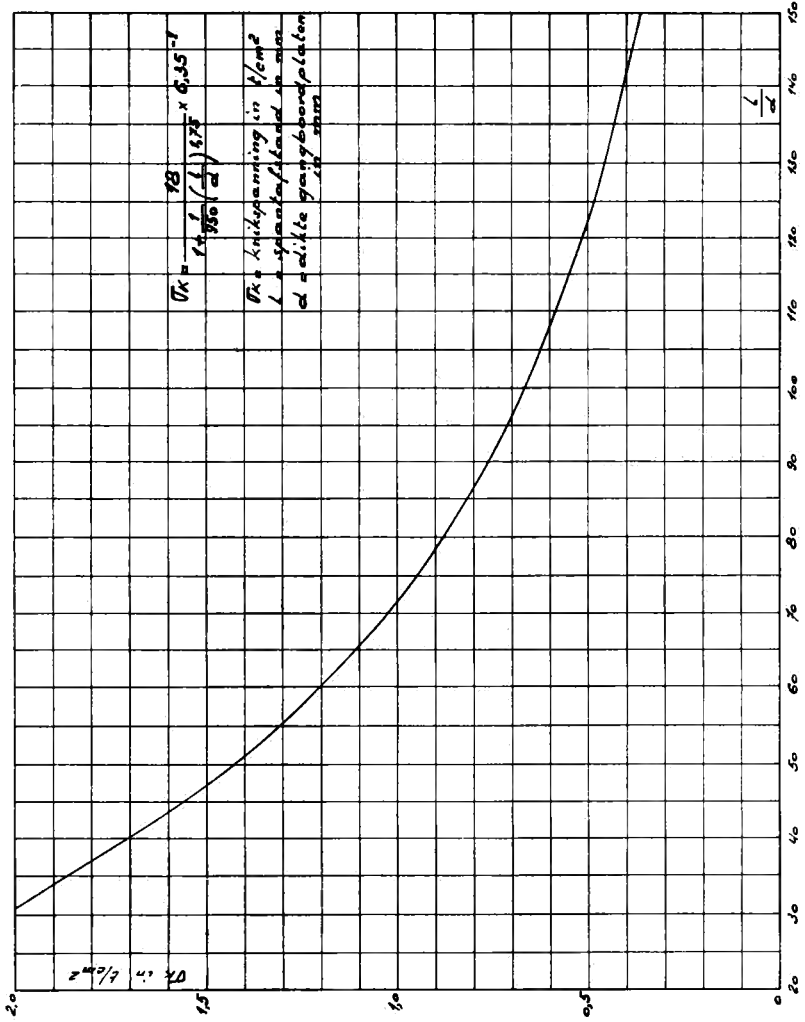


FIG. 5. — Toelaatbare spanning volgens MONTGOMMERIE.

Volgens MONTGOMMERIE kwamen de berekende spanningen tamelijk goed overeen met deze van formule (10) en het is vooral hieraan dat deze formule haar waarde dankt.

Het is niet bekend op welke manier MONTGOMMERIE de buigmomenten berekende. Waarschijnlijk veronderstelde hij dat de lengte der golven gelijk was aan deze van het schip en de hoogte $1/20$ hiervan.

In *tabel I* worden de knikspanningen bekomen bij middel van de formules (9) en (10) met elkaar vergeleken. Men merkt op dat de knikspanning volgens MONTGOMMERIE :

- 1) Merkelijk hoger ligt ;
- 2) Minder snel stijgt met de plaatdikte. Voor de meest voorkomende l/t verhoudingen (tussen 70 en 110) is de knikspanning volgens MONTGOMMERIE ongeveer evenredig met de macht $5/4$ van de plaatdikte.

Of formule (10) toepasselijk is op binnenschepen is geenszins zeker, daar de konstruktie hiervan erg afwijkt van deze van zeeschepen. Bij gebrek aan betere gegevens is men echter wel verplicht de formule van MONTGOMMERIE ook te gebruiken voor sterkteberekeningen van binnenschepen.

Dat binnenschepen in bepaalde gevallen inderdaad ongeveer kunnen weerstaan aan spanningen berekend volgens MONTGOMMERIE, blijkt uit de volgende 2 voorbeelden welke betrekking hebben op schepen op de Congostroom.

- 1) Een lichter van 500 ton werd tamelijk ongunstig beladen, zodat de drukspanning in de dekplaten 823 kg/cm^2 bedroeg. De dekstringerplaten waren 6,5 mm dik, waarmede volgens MONTGOMMERIE een knikspanning van 910 kg/cm^2 overeenstemt. Bij het laden gebeurde er niets, maar gedurende de reis brak het schip door, volgens de verklaringen van de schipper, zonder aanleiding.

- 2) Een duwbak van 1 200 ton met vier ruimen liep averij op doordat in ruim twee te veel gewicht ineens werd geladen. De oorzaak hiervan was niet in de eerste plaats een te kleine langsterkte maar een gebrek aan plaatselijke sterkte van het langschot. Dit langsschot, waarvan de meeste lichters in Congo zijn voorzien, is te beschouwen als een balk welke de helft van de

belasting van de wrangen moet opnemen en welke ondersteund wordt door de dwarsschotten. Op het ogenblik van het incident bedroeg de langsspanning 966 kg/cm^2 . De dikte der dekplaten bedroeg 8 mm en de knikspanning volgens MONTGOMMERIE 1155 kg/cm^2 .

Voor verdere gegevens betreffende deze twee gevallen, zie tabel II en fig. 5 en 6.

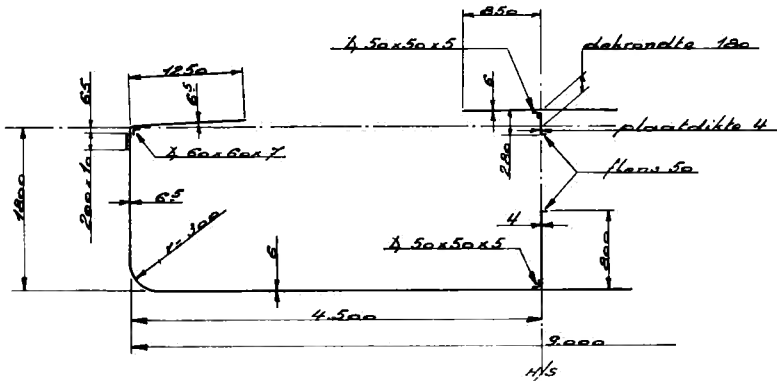


FIG. 6. — Lichte van 500 t. — Doorsnede.

Zoals men kan opmerken is de knikspanning berekend voor de dekstringerplaat en niet voor de dekplaten in het midden, terwijl MONTGOMMERIE waarschijnlijk het omgekeerde heeft gedaan. Voor zeeschepen is het aangewezen de plaatdikte van de gewone dekgangen te nemen, daar de stringergangen slechts een klein gedeelte van de totale dekdoorsnede uitmaken. In de lichters van 500 en 1 200 ton daarentegen wordt de dekdoorsnede voor het grootste gedeelte door de stringergangen verwezenlijkt. Bovendien wordt de middengang nog versterkt tegen uitknikken door het middenlangsschot.

Bij gebrek aan beters, schijnt het dus toegelaten ook voor binnenschepen de langssterkte te berekenen bij middel van de formule van MONTGOMMERIE.

Daar de formule de knikspanning aangeeft waarbij het schip in gevaar komt, moet men, om de toelaatbare spanning te bekomen, nog delen door een veiligheidsfactor, waarvoor men bijvoorbeeld 1,5 zou kunnen nemen. Met deze factor is rekening gehouden

HOOFDSTUK IV

Benaderingsformule voor de berekening van de weerstandsmodulus van het grootspant

Daar de nauwkeurige berekening van de weerstandsmodulus van het grootspant van een schip betrekkelijk veel tijd vraagt, is het interessant hiervoor een benaderingsformule op te stellen. Zulke formule is o. a. nuttig in de volgende gevallen :

- Om snel de invloed van de plaatdikte en de hoofdafmetingen op de weerstandsmodulus te onderzoeken ;
- Om toe te laten de weerstandsmodulus van een nieuw ontwerp te vergelijken met deze van een groot aantal bestaande schepen ;
- Om het resultaat van een gedetailleerde berekening te controleren.

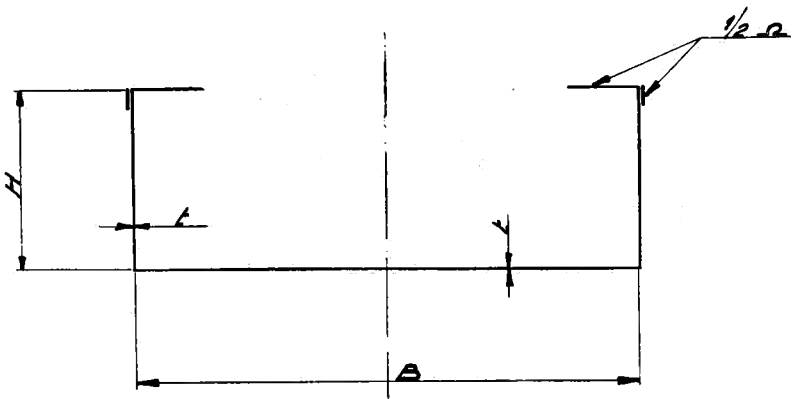


FIG. 8. — Vereenvoudigde doorsnede van een scheepsromp.

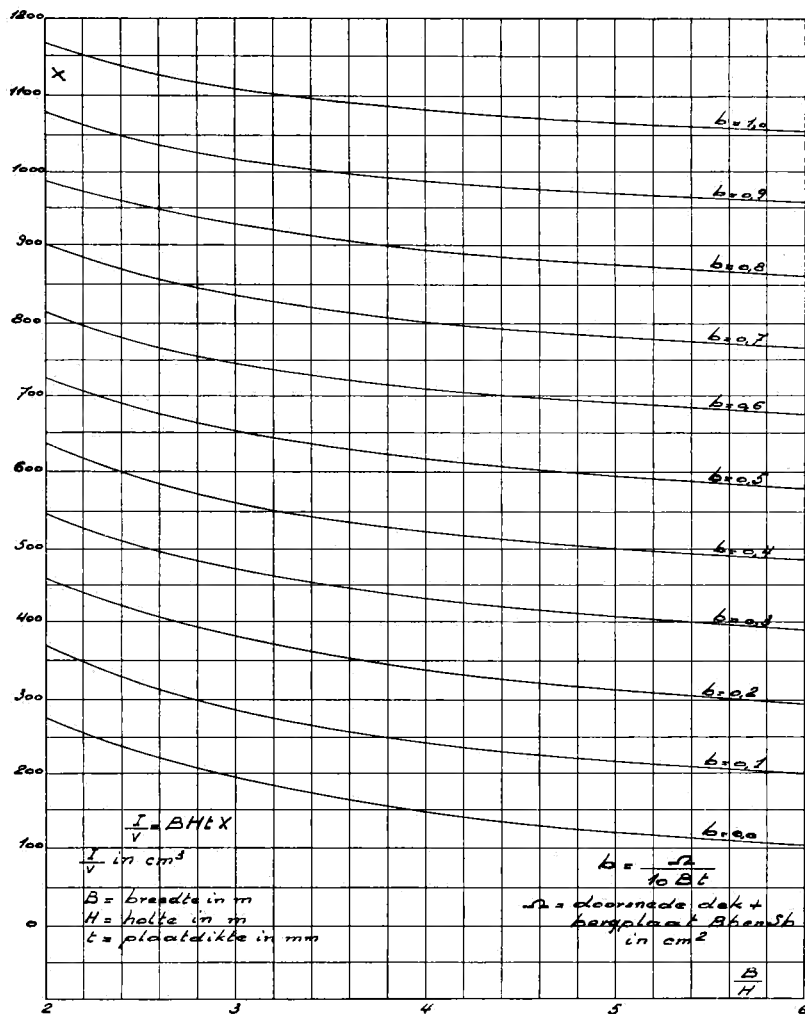


FIG. 9. — Diagram voor de berekening van I/V.

In de meeste gevallen kan men, met een goede benadering, de doorsnede van een scheepsromp tot de drie volgende elementen herleiden (fig. 8) :

- 1) De bodem van het schip, met doorsnede $B \times t$;
- 2) De scheepszijden, met doorsnede $H \times t$;
- 3) De « dekdorsnede » Ω , welke, buiten de doorsnede van het

eigenlijke dek, ook deze van alle elementen bevat welke in de buurt van het dek liggen, zoals de denneboom, de bergplaten, de eventuele dekbalkdragers, de doorsnede van de berghoutsgang inzoverre deze niet begrepen is in de doorsnede $H \times t$, enz.

Deze herleiding geeft aanleiding tot de volgende fouten :

— Men houdt geen rekening met de grotere dikte van kiel en kimplaten, noch met eventuele doorlopende zaathouten, noch met de gebruikelijke afronding van de kimmén. Deze fouten zijn niet zeer belangrijk, daar zij elkaar gedeeltelijk compenseren, en daar al deze elementen niet zeer ver van de neutrale vezel liggen.

— De invloed van de elementen zoals berghoutsgang, bergplaat, enz., welke onder dek liggen, wordt overschat. De invloed van elementen boven dek, zoals de denneboom wordt overschat. Ook deze fouten zullen elkaar zeer dikwijls compenseren.

— Een meer belangrijke fout vloeit voort uit het feit dat geen rekening wordt gehouden met de juiste afstand van de uiterste vezel (bovenkant denneboom of hoogste punt van dek) tot de neutrale vezel.

Om de berekeningen te vereenvoudigen is het aangewezen de doorsnede Ω te vervangen door de uitdrukking bBt . Immers, de dekdoorsnede-verhouding $b = \frac{\Omega}{Bt}$ blijft ongeveer konstant voor schepen van hetzelfde type.

Men kan gemakkelijk aantonen dat in dit geval de weerstandsmodulus van de scheepsromp gegeven wordt door de formule :

$$\frac{I}{V} = xtHB \quad (11)$$

$$\text{waarin : } x = 1000 \frac{b \left(2 + 3 \frac{H}{B} \right) + 2 + \frac{H}{B}}{3 \left(\frac{H}{B} + 1 \right)} \quad (12)$$

B en H = breedte en holte in m.

t = plaatdikte in mm.

Fig. 9 geeft de koëfficiënt x aan in functie van b en B/H .

Formule (12) kan vereenvoudigd worden tot

$$x = 916 b + 583 \frac{H}{B}. \quad (13)$$

De afwijking t.o.v. formule (12) bedraagt in de meest ongunstige omstandigheden niet meer dan 4%.

Men merkt op dat, voor een gegeven dekdoorsnede-verhouding b , de breedteholteverhouding weinig invloed heeft op de weerstandsmodulus. Deze laatste is dus, voor schepen van hetzelfde type, bijna volkomen evenredig aan het produkt tHB . Van deze eigenschap zal hierna nog enkele malen gebruik worden gemaakt.

HOOFDSTUK V

Empirische formules voor de berekening van I/V .

Uit hetgeen voorafgaat blijkt dat het voorlopig nog onmogelijk is met nauwkeurigheid de langsterkte van een binnenschip te berekenen. Bovendien heeft men ook opgemerkt dat men dikwijls zelfs niet juist weet aan welk buigmoment het schip moet kunnen weerstaan.

Voor een reder betekent het zeer weinig wanneer hem gezegd wordt dat een bepaald schip kan weerstaan aan een buigmoment van 1 200 *tm*. Wat voor hem meer belang heeft, is te weten of deze sterkte overeenkomt met die van andere schepen van hetzelfde type en dezelfde afmetingen.

Om dit gemakkelijk te kunnen nagaan, zou men moeten beschikken over een formule welke de weerstandsmodulus van het schip aangeeft in functie van de afmetingen ervan. Deze formule zou het best opgesteld worden bij middel van een statistische studie van schepen waarvan de langsterkte voldoening heeft gegeven. Dit is echter praktisch niet te verwezenlijken.

Het probleem wordt veel vereenvoudigd, wanneer men gebruik maakt van de voorschriften der klassifikatiemaatschappijen. Deze voorschriften immers houden rekening met de opgedane ervaring. Men mag aannemen dat schepen welke er aan voldoen in alle opzichten voldoening geven in de praktijk.

De hiernavolgende berekeningen zijn gebaseerd op de voorschriften van *Germanischer Lloyd*, welke veel worden toegepast [6].

De formules welke in deze voorschriften voorkomen zijn gebaseerd op de sterkteleer en blijven geldig voor schepen met min of meer ongewone verhoudingen ⁽¹⁾.

Onderzoeken we eerst welke parameters belang hebben voor de bepaling van I/V .

⁽¹⁾ Dit is eveneens waar voor het nieuwe reglement van Bureau VERITAS, dat begin 1961 verscheen. In bijlage II worden hieraan enkele beschouwingen gewijd.

Uit formule (5) volgt :

$$\frac{I}{\bar{V}} = \frac{100 M}{\sigma}. \quad (14)$$

Het buigmoment M is evenredig met het displacement en de scheepslengte :

$$M = Kte D L. \quad (15)$$

Zoals hierboven angetoond werd, is de spanning een functie van de verhouding $\frac{l}{t}$. In de praktijk bedraagt de spantafstand l bijna steeds 50 cm, tenzij voor zeer kleine schepen. Het is dus toegelaten l buiten beschouwing te laten. Bijgevolg kan men stellen :

$$\sigma = Kte t^a. \quad (16)$$

Wat de plaatdikte t betreft, deze wordt in de voorschriften van *Germanischer Lloyd* uitsluitend bepaald door de scheepslengte L door de betrekking :

$$t = 0,0750 L^{0,614}. \quad (17)$$

Ook bij de meeste andere klassifikatiemaatschappijen is t een functie van L (zie o.a. [7]).

Door eliminatie van M , σ en t uit (14), (15), (16) en (17) bekomt men :

$$\frac{I}{\bar{V}} = A D^x L^y. \quad (18)$$

A , x en y zijn konstanten welke moeten berekend worden.

Hiervoor werd een aantal schepen gekozen met verschillende afmetingen.

Als vertrekpunt werden 4 verschillende lengten genomen : 20, 40, 67 en 101 m. De andere afmetingen werden hiervan afgeleid door toepassing van de volgende verhoudingen :

$$\text{Voor de holte } H : \frac{L}{H} = 15, 25 \text{ en } 35.$$

$$\text{Voor de breedte } B : \frac{B}{H} = 3 \text{ en } 5.$$

Voor de berekening van het displacement werd een volheidskoëfficiënt van 0,90 aangenomen. Dus $D = 0,90 LBH$.

Op deze wijze bekomt men 24 schepen, waarvan men de afmetingen vindt in *Tabel III*.

Tabel III. — Weerstandsmodulus volgens *Germanischer Lloyd*.

	L	L/H	B/H	B	H	D	log D	t	Luiken doorlopend		Luiken niet doorlopend	
									I/V	log I/V	I/V	log I/V
				m	m	m ³		mm	cm ³		cm ³	
1	20	15	3	3,99	1,33	95	1,975	3,5	14 937	4,175	17 000	4,230
2	20	15	5	6,65	1,33	159	2,201	3,5	17 688	4,248	23 200	4,365
3	20	25	3	2,40	0,80	35	1,539	3,5	6 670	3,824	6 503	3,813
4	20	25	5	4,00	0,80	58	1,760	3,5	8 200	3,914	8 990	3,954
5	20	35	3	1,71	0,57	17	1,244	3,5	3 970	3,599	3 420	3,534
6	20	35	5	2,85	0,57	29	1,466	3,5	4 690	3,671	4 760	3,669
7	40	15	3	7,95	2,65	758	2,879	5,0	74 634	4,873	90 100	4,955
8	40	15	5	13,25	2,65	1 264	3,100	5,0	99 100	4,996	126 800	5,102
9	40	25	3	4,80	1,60	294	2,468	5,0	31 749	4,501	34 100	4,533
10	40	25	5	8,00	1,60	490	2,690	5,0	40 667	4,609	48 400	4,685
11	40	35	3	3,42	1,14	142	2,331	5,0	17 450	4,242	17 650	4,246
12	40	35	5	5,70	1,14	234	2,369	5,0	20 580	4,312	24 700	4,395
13	67	15	3	13,41	4,47	3 614	3,557	6,5	279 000	5,445	350 000	5,544
14	67	15	5	22,35	4,47	6 024	3,780	6,5	389 000	5,589	492 000	5,692
15	67	25	3	8,04	2,68	1 292	3,110	6,5	112 200	5,049	124 200	5,089
16	67	25	5	13,40	2,68	2 166	3,334	6,5	158 900	5,199	179 000	5,253
17	67	35	3	5,73	1,91	660	2,819	6,5	63 046	4,799	64 800	4,812
18	67	35	5	9,55	1,91	1 099	3,041	6,5	85 900	4,934	92 000	4,964
19	101	15	3	20,19	6,73	12 283	4,088	8	789 000	5,897	970 000	5,987
20	101	15	5	33,65	6,73	20 646	4,314	8	1.115 000	6,047	1.395 000	6,143
21	101	25	3	12,15	4,05	4 472	3,650	8	317 050	5,501	340 000	5,531
22	101	25	5	20,25	4,05	7 454	3,872	8	439 000	5,642	498 000	5,697
23	101	35	3	8,67	2,89	2 278	3,358	8	178 627	5,252	179 000	5,253
24	101	35	5	14,45	2,89	3 784	3,587	8	230 000	5,362	260 000	5,415

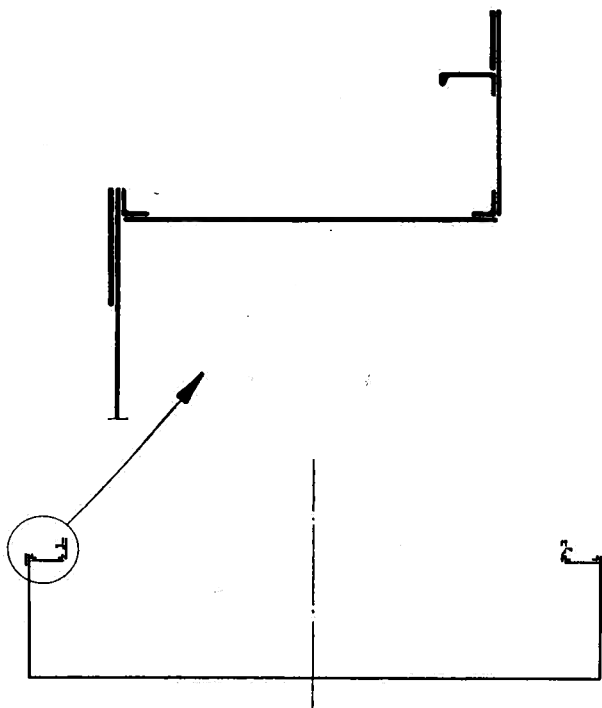


FIG. 10. — Doorsnede van een schip met doorlopend luik volgens *Germanischer Lloyd*.

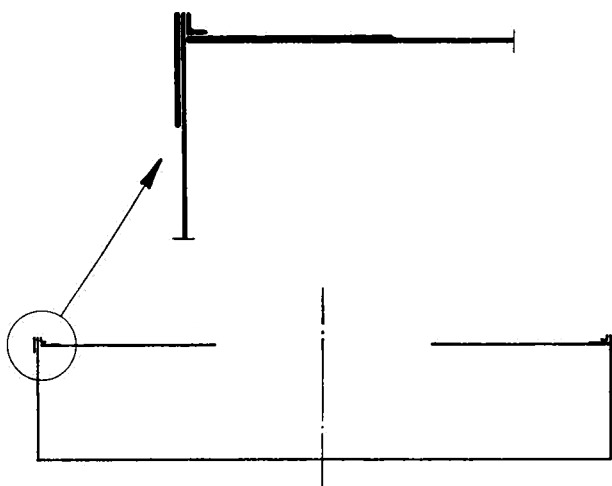


FIG. 11. — Doorsnede van een schip met niet doorlopende luiken volgens *Germanischer Lloyd*.

Voor elk schip werd I/V berekend voor twee uitvoeringen :

1) Één luik doorlopend over de ganse lengte, zoals meestal in Europa wordt toegepast ;

2) Meerdere luiken, hetgeen de regel is in Congo.

In het eerste geval mag de denneboom meegerekend worden voor de bepaling van de weerstandsmodulus, in het tweede geval niet. *Fig. 10* en *11* tonen de grootspanten van deze twee scheepstypes. Bij de berekening werd verder rekening gehouden met volgende punten :

– De berghoutsgang en de denneboom zijn aan dek geklonken door middel van hoekstalen waarvan de doorsnede volledig in rekening is gebracht.

– De grotere plaatdikte welke normaal wordt toegepast voor kiel en kimgangen is verwaarloosd. Als compensatie is een rechthoekige kim voorzien in plaats van de meer gebruikelijke afgeronde.

– Geen dekrondte is voorzien.

De resultaten der berekeningen worden weergegeven in *tabel III* en grafisch voorgesteld in *fig. 12* en *13*.

Hieruit kunnen de konstanten van formule (18) bepaald worden. Men bekomt :

Voor schepen met doorlopend luik :

$$\frac{I}{V} = 340 D^{0,81} L^{-0,18}. \quad (19)$$

Voor schepen met niet doorlopende luiken :

$$\frac{I}{V} = 495 D^{0,96} L^{-0,33}. \quad (20)$$

Gezien de betrekkelijk lage waarde van de exponent van L en daar er bovendien een zeker verband bestaat tussen lengte en displacement, is het toegelaten L te verwaarlozen. Men bekomt alsdan de meer eenvoudige uitdrukkingen :

$$\frac{I}{V} = 250 D^{0,85} \quad (21)$$

$$\frac{I}{V} = 280 D^{0,85}. \quad (22)$$

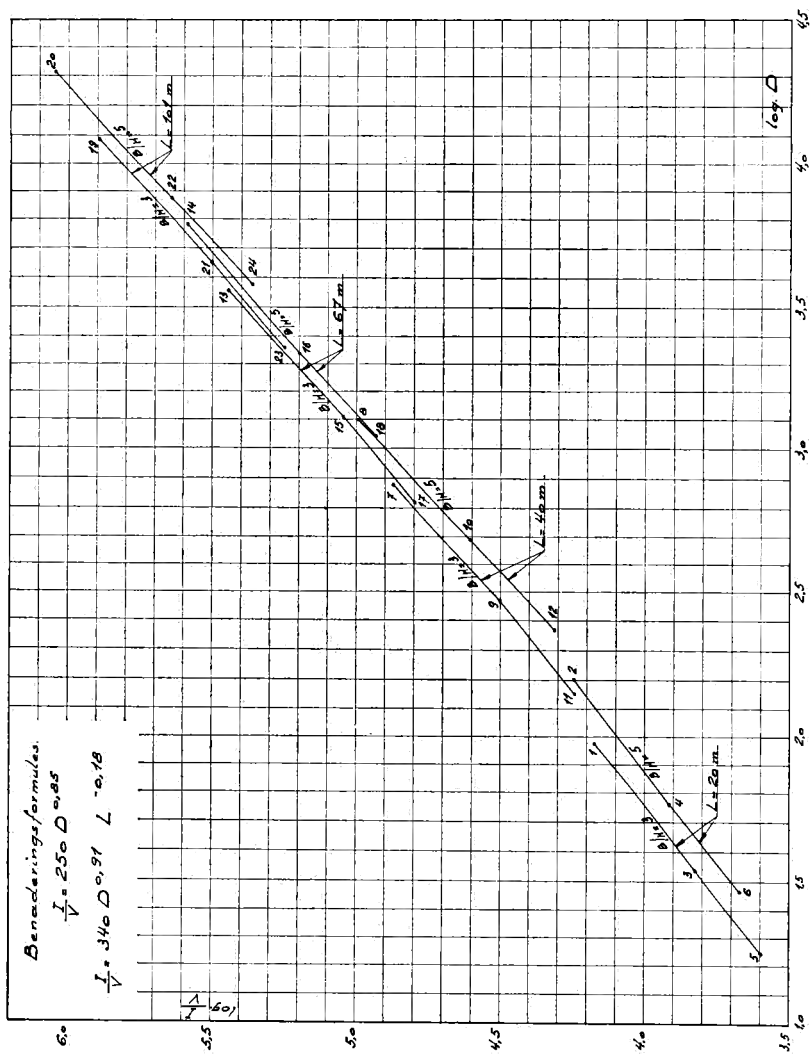


Fig. 12. — Langsterkte volgens *Germanischer Lloyd*. Schepen met doorlopend luik. Geklonken constructie.

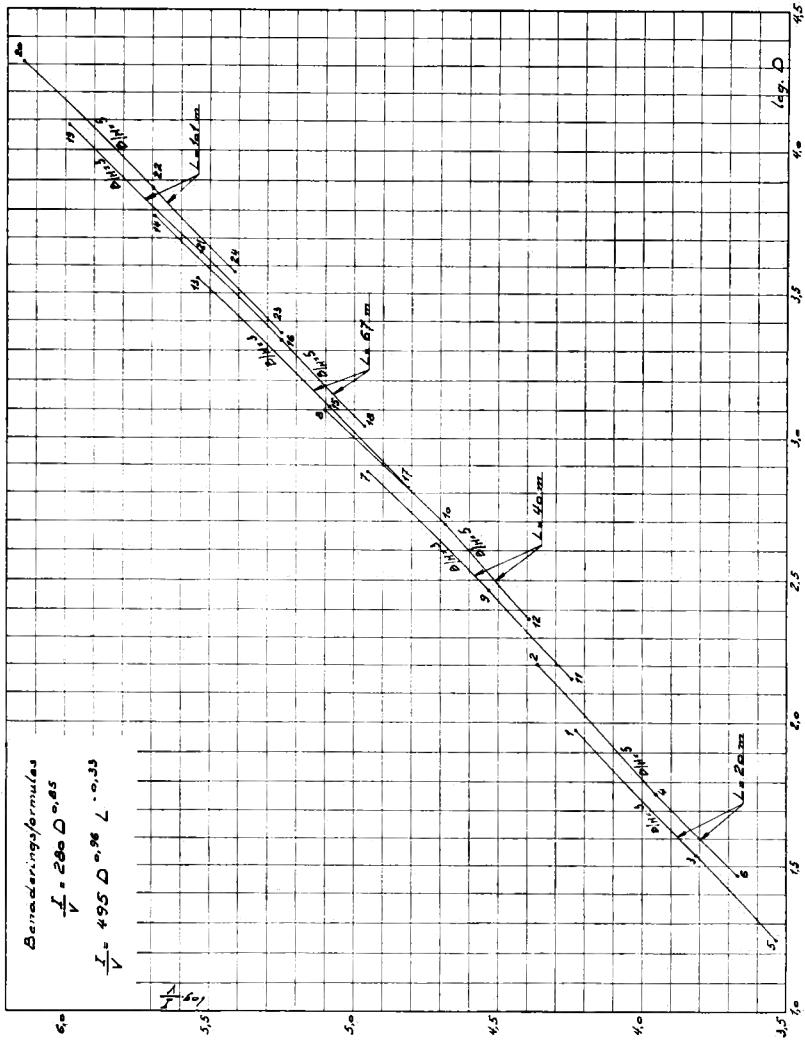


Fig. 13. — Langsterkte volgens *Germanischer Lloyd*. Schepen met niet doorlopende luiken. Geklonken constructie.

Op het eerste zicht lijkt het eigenaardig dat in de formules (19) en (20) de lengte L een negatieve exponent heeft. Bij konstante deplacement wordt I/V dus kleiner naarmate de lengte toeneemt. Dit schijnt in tegenspraak te zijn met de hierboven aangenomen veronderstelling dat het buigmoment evenredig zou zijn met de deplacement en lengte. Deze tegenspraak is echter slechts schijnbaar.

Veronderstellen we twee schepen met hetzelfde deplacement maar met verschillende lengte. In dit geval heeft men :

$$L_1 B_1 H_1 = L_2 B_2 H_2. \quad (23)$$

Daar de deplacements gelijk zijn, verhouden de buigmomenten zich zoals de lengten, dus :

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{L_1}{L_2}. \quad (24)$$

Om eenzelfde langssterkte te bekomen, moeten de weerstandsmoduli voldoen aan de volgende betrekking :

$$\frac{\left(\frac{I}{\bar{V}}\right)_1}{\left(\frac{I}{\bar{V}}\right)_2} = \frac{M_1 \sigma_2}{M_2 \sigma_1}. \quad (25)$$

Anderzijds volgt uit (11) :

$$\frac{\left(\frac{I}{\bar{V}}\right)_1}{\left(\frac{I}{\bar{V}}\right)_2} = \frac{B_1 H_1 t_1}{B_2 H_2 t_2}. \quad (26)$$

Volgens de formule van MONTGOMMERIE, voor de bij binnenschepen gebruikelijke spantafstand-plaatdikteverhoudingen, is de knikspanning σ ongeveer evenredig met de macht $5/4$ van de plaatdikte t , dus :

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^{5/4}. \quad (27)$$

Door eliminatie van B , H , M , σ en t uit de vergelijkingen (23) tot (27) bekomt men :

$$\frac{\left(\frac{I}{\bar{V}}\right)_1}{\left(\frac{I}{\bar{V}}\right)_2} = \left(\frac{L_1}{L_2}\right)^{-1/9}. \quad (28)$$

Men konstateert dus dat ook volgens MONTGOMMERIE voor schepen met een zelfde deplacement I/V daalt als de lengte toeneemt.

Gezien de kleine fouten die hieruit voortvloeien is het echter toegelaten de formules (19) en (20) door (21) en (22) te vervangen, vooral omdat deze laatste voor lange schepen iets te grote waarden geven voor de weerstandsmodulus. Daar op het eerste zicht het tegenovergestelde het geval schijnt te zijn, is het de moeite waard dit even te onderstrepen.

Beschouwen we nog de invloed van de B/H verhouding.

Uit *fig. 12* en *13* blijkt dat deze verhouding grote invloed heeft op de weerstandsmodulus berekend volgens *Germanischer Lloyd*. De schepen met een B/H verhouding van 3 zijn 15 à 20 % sterker dan deze met een verhouding van 5.

Waarschijnlijk is dit verschijnsel eerder toevallig en het gevolg van het feit dat men in de eerste plaats de eenvoud van het reglement heeft beoogd, zodat men geen rekening heeft kunnen houden met alle details welke invloed hebben op de langsterkte. Verder mag men niet vergeten dat de langsterkte slechts één der elementen is waarmede moet rekening worden gehouden bij de bepaling der plaatdikten. De grotere sterkte der smallere schepen wordt veroorzaakt door het feit dat de invloed der scheepszijden hier relatief belangrijker wordt.

Het probleem kan theoretisch bestudeerd worden door weer gebruik te maken van de vergelijkingen (23) tot (28). Daar in formule (28) B/H niet voorkomt, heeft deze verhouding dus geen invloed op de langsterkte.

Er moet nochtans opgemerkt worden dat betrekking (26) niet ten volle geldig blijft voor twee schepen met verschillende B/H verhouding, en dat deze bijgevolg toch een zekere invloed heeft op de langsterkte [zie vergelijking (12) en (13)].

Om een zelfde relatieve sterkte te bekomen, zouden de resultaten van formules (17) tot (20) nog vermenigvuldigd moeten worden met volgende factoren :

B/H	2	3	4	5
Faktor	1,049	1,019	1,000	0,988

De berekening van deze factoren is gebaseerd op de volgende veronderstellingen :

— De faktor 1,000 werd toegekend aan de verhouding $B/H = 4$;

— De toelaatbare spanning is evenredig met de macht $5/4$ van de plaatdikte;

— De totale dekdoorsnede Ω bedraagt 60 % van deze van de bodem.

Men merkt op dat de smalste schepen de grootsteweerstandsmodulus moeten hebben, maar dat de verschillen merkkelijk kleiner zijn dan deze bekomen door toepassing van de voorschriften van *Germanischer Lloyd*. De invloed van B/H is echter zo klein dat hij in de praktijk volkomen verwaarloosd mag worden.

Tabel IV geeft, voor schepen met niet doorlopende luiken, een vergelijking tussen de weerstandsmoduli berekend met de formules (20) en (22) en deze berekend volgens *Germanischer Lloyd* voor schepen met een B/H verhouding van 4. Zoals hierboven is weer een volheidscoëfficiënt aangenomen van 0,90. Men merkt op dat de benadering van formule (20) beter is dan deze van formule (22).

Tabel IV. — Vergelijking tussen I/V volgens *Germanischer Lloyd* en formule (20) en (22).
Schepen met niet doorlopende luiken. $B/H = 4$.

L m	L/H	Log I/V volgens			Fout op I/V %	
		<i>Germ. L.</i>	(20)	(22)	(20)	(22)
40	15	5,03	5,01	5,05	— 5	+ 5
40	25	4,61	4,63	4,62	+ 5	+ 2
40	35	4,32	4,38	4,34	+ 15	+ 5
67	15	5,62	5,58	5,63	— 10	+ 2
67	25	5,17	5,20	5,20	+ 7	+ 7
67	35	4,89	4,96	4,86	+ 17	— 7

Tot hertoe werden steeds schepen beschouwd zonder vrijboord, voor dewelke de diepgang gelijk is aan de holte.

Op ondiepe rivieren, o.a. in de tropische gewesten, worden de lichters meestal ontworpen met vrijboord. Zonder vrijboord zou de langsterkte onvoldoende zijn en zou de hoogte in de ruimen te klein zijn.

Voor schepen met vrijboord moet aan de voorgaande formules een korrektie aangebracht worden.

Men beschouwe twee schepen met zelfde lengte L , breedte B en diepgang T . Het eerste schip heeft geen vrijboord, de holte is dus gelijk aan de diepgang.

Het tweede schip heeft vrijboord en de holte H is dus groter dan T .

Daar voor de twee schepen lengte en displacement gelijk zijn, is dit ook het geval voor de buigmomenten. Bijgevolg zijn de weerstandsmoduli I/V omgekeerd evenredig aan de toelaatbare spanningen σ . Indien men de elementen welke betrekking hebben op het schip met vrijboord voorziet van een index v , kan men dus schrijven :

$$\left(\frac{I}{V}\right)_v = \frac{I}{V} \frac{\sigma}{\sigma_v} \quad (29)$$

Anderzijds heeft men volgens formule (11) :

$$\left(\frac{I}{V}\right)_v = \frac{I}{V} \frac{H}{T} \frac{t_v}{t} \quad (30)$$

En volgens formule (27) :

$$\frac{\sigma}{\sigma_v} = \left(\frac{t}{t_v}\right)^{5/4} \quad (31)$$

Door eliminatie van $\frac{\sigma}{\sigma_v}$ en $\frac{t}{t_v}$ uit de laatste drie vergelijkingen bekomt men :

$$\left(\frac{I}{V}\right)_v = \frac{I}{V} \left(\frac{H}{T}\right)^{5/9} \quad (32)$$

Om de formule te vereenvoudigen mag men hierin de macht $5/9$ vervangen door $1/2$.

Indien $H > T$, moeten dus de weerstandsmoduli, bekomen door de formules (19) tot (22), nog vermenigvuldigd worden met $\sqrt{H/T}$. Men bekomt alzo :

Voor schepen met doorlopende luiken :

$$\frac{I}{V} = 340 D^{0,91} L^{-0,18} \left(\frac{H}{T}\right)^{0,5} \quad (33)$$

$$\frac{I}{V} = 250 D^{0,85} \left(\frac{H}{T}\right)^{0,5} \quad (34)$$

Voor schepen met niet doorlopende luiken :

$$\frac{I}{\bar{V}} = 495 D^{0,96} L^{-0,33} \left(\frac{H}{T}\right)^{0,5} \quad (35)$$

$$\frac{I}{\bar{V}} = 280 D^{0,85} \cdot \left(\frac{H}{T}\right)^{0,5} \quad (36)$$

Het is interessant bovenstaande methode ter bepaling van I/V te vergelijken met het werk van het Loadline Comitee 1913-15 van de Board of Trade en van de Internationale Konferentie betreffende de uitwatering van zeeschepen van 1930 [1; 8].

Een der problemen welke op deze konferenties werden behandeld bestond in het opstellen van een eenvoudige regel welke toe moest laten de maximum toelaatbare diepgang te bepalen in funktie van de weerstandsmodulus van het schip. Deze twee elementen zijn immers niet onafhankelijk van elkaar, daar de optredende buigmomenten tezamen met de diepgang toenemen.

Er werd besloten een empirische formule op te stellen, gebaseerd op de toenmalige voorschriften der klassifikatiemaatschappijen.

Zoals hierboven, vertrok men van de formules (13) en (14). Men veronderstelde echter dat de spanning σ evenredig was met de lengte L . Alzo kwam men tot de betrekking :

$$\frac{I}{\bar{V}} = a L B T. \quad (37)$$

Voor een gegeven lengte werd dit :

$$\frac{I}{\bar{V}} = f B T. \quad (38)$$

De koëfficiënt f werd berekend in funktie van de lengte.

Hiervoor werden een aantal schepen gekozen met verschillende afmetingen.

Als vertrekpunt werden 6 verschillende lengten gekozen : 100, 200, 300, 400, 500 en 600 voet.

De holte H werd afgeleid van de lengte door toepassing van de volgende verhoudingen : $\frac{L}{H} = 10, 11, 12$ en $13,5$.

De breedte B , in voet, werd bepaald door de formule :

$$B = \frac{L}{10} + 10.$$

Voor al deze schepen werd de weerstandsmodulus berekend volgens de voorschriften der bestaande klassifikatiemaatschappijen, waaruit dan het verband tussen f en L werd afgeleid. Ter orientatie geeft *tabel V* enkele waarden van f .

Tabel V. — Koëfficiënt f uit formule (38).

L in m	30	60	90	120	150	180
f	3 777	7 470	14 335	23 106	33 480	45 368

Toegepast op schip n^r 15 uit *tabel 3* geeft formule (38) :

$$\frac{I}{V} = fBT = 8.877 \ 8,04 \ 2,68 = 191 \ 500 \text{ cm}^3.$$

De weerstandsmodulus voor een binnenschip met dezelfde afmetingen bedraagt ongeveer 120 000 cm³.

Hetgeen voorafgaat was reeds opgesteld wanneer professor TELFER op het Congres der Engelse Scheepsbouwingenieurs te Lissabon in 1959 een voordracht hield over de berekening van de langsterkte van zeeschepen.

Deze voordracht vertoont in sommige opzichten grote overeenkomst met onderhavige studie. In bijlage I wordt de schriftelijke tussenkomst van de auteur in de discussie, welke op de voordracht volgde, gegeven (zie ook [5]).

Tot slot van dit hoofdstuk volgt in *tabel VI* nog een overzicht van de langsterkte van enkele sloopstypes welke veelvuldig voorkomen in Congo en West-Europa.

Tabel VI. — Gegevens betreffende de langsterkte van enkele belangrijke binnenschepen.

Scheepstype	Hoofdafmetingen in m				Depl. D in ton	Plaatdikte in mm	I/V in cm ³		Verhou- ding a/b
	Lengte L	Breedte B	Holte H	Diepgang T			a verwe- zenlijkt	b berekend volgens (34) of (36)	
Voornaamste Kongolese eenheden									
P X 50	24,0	3,5	1,35	0,92	70	4,0	10 683	12 550	0,85
P 250	48,0	7,0	1,50	1,00	313	5,0	28 000	45 200	0,62
H 350	51,0	8,0	2,00	1,25	380	5,0	55 600	55 200	1,01
J 500	63,5	9,0	1,80	1,20	580	6,0	63 500	76 000	0,84
L 675	64,0	9,0	2,10	1,30	600	6,5	75 000	81 800	0,92
O 800	66,0	9,5	2,60	1,85	970	6,0	107 760	115 000	0,94
W 1 000	76,0	11,5	2,60	1,85	1 400	7,5	137 600	157 000	0,88
P 1 000	65,0	11,5	2,50	1,85	1 270	7,0	114 360	141 000	0,81
P 1 000	65,0	11,5	2,50	1,85	1 335	7,0	134 000	147 000	0,90
P 1 200	81,0	11,5	2,90	1,85	1 622	7,0	161 000	188 000	0,85
Genormaliseerde Europese binnenschepen (geklonken konstruktie)									
Oscar TEUBERT	53	6,28	2,50	2,50	727	6	89 300	67 500	1,32
Karl VORFISCH	57	7,04	2,30	2,30	786	7	86 200	72 500	1,19
Gustav KÖNIGS	67	8,20	2,50	2,50	1 209	7	119 560	104 500	1,14
Theodor HIRTZLER	76	10,50	2,30	2,30	1 600	8	121 700	132 500	0,92
Johann WELKEK	80	9,50	2,70	2,70	1 640	8	151 500	135 000	1,12

HOOFDSTUK VI

De bepaling der plaatdikte rekening houdend met de plaatselijke belasting.

Bij het bepalen van de plaatdikte van bodem en zijwanden van het schip moet men, buiten de langssterkte, ook nog rekening houden met de volgende plaatselijke belastingen :

- 1) De hydrostatische druk van het water.
- 2) Plaatselijke krachten welke optreden wanneer het schip in aanraking komt met de bodem of met de oevers van de rivier of met drijvende voorwerpen.

Voor de berekening van de platen tegen de hydrostatische waterdruk mag men deze beschouwen als zijnde ingeklemd ter plaatse van de spanten. Het maximum moment M doet zich voor ter plaatse van de inklemming en bedraagt voor een plaatstrip van 1 cm breedte :

$$M = \frac{p l^2}{12} \quad (39)$$

waarin : M = moment in kgcm
 l = spantafstand in cm.
 p = waterdruk in $\text{kg/cm}^2 = 0,1 \text{ T}$.

Wanneer men de plaatdikte in cm voorstelt door t_1 , bekomt men als weerstandsmodulus :

$$\frac{I}{V} = \frac{t_1^2}{6}. \quad (40)$$

De spanning σ , in kg/cm^2 bedraagt bijgevolg :

$$\sigma = \frac{M}{I/V} = \frac{T l^2}{20 t_1^2}. \quad (41)$$

Het is aan te raden de spanning te beperken tot $1\,400\text{ kg/cm}^2$ en daarenboven op de plaatdikte een toeslag van 0,5 mm te voorzien.

Tabel VII geeft, in funktie van de plaatdikte, de maximum toelaatbare diepgang aan, voor een spantafstand van 50 cm. Indien de spantafstand groter is dan 50 cm, moet de plaatdikte in dezelfde verhouding verhoogd worden.

Tabel VII. — Diepgang en deplacement in funktie van plaatdikte voor een spantafstand van 50 cm.

Plaatdikte in mm	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7
Diepgang in m	0,70	1,00	1,36	1,78	2,25	2,78	3,36	4,00	4,70
Deplacem. in m ³	25	61	133	268	495	870	1 420	2 310	3 560

De bepaling der dikte van de huidplaten, in verband met plaatselijke stoten, is minder vatbaar voor wiskundige berekening.

Voor het opstellen van een empirische formule kan men als volgt te werk gaan.

Wanneer een schip in aanraking komt met een vreemd voorwerp worden de opgewekte krachten bepaald door :

- 1) De aard van het vreemde voorwerp ;
- 2) De relatieve snelheid ;
- 3) De massa van het schip.

Anderzijds wordt de kracht waaraan de huidplaat kan weerstaan bepaald door de plaatdikte en de spantafstand.

Wanneer men alleen spantafstanden van 50 cm beschouwt, zijn de enige praktische elementen waartussen men een betrekking kan opstellen, de plaatdikte t_2 en de massa of het deplacement van het schip.

Zoals hierboven uiteengezet, geven de voorschriften van *Germanischer Lloyd* de plaatdikte aan in funktie van de scheeps-lengte L . Het verband tussen deze twee elementen wordt met grote nauwkeurigheid aangegeven door formule (16).

Om het deplacement uit de lengte af te leiden, worden de volgende veronderstellingen gemaakt :

- De breedte bedraagt $1/6$ van de lengte ;
- De diepgang is $1/20$ van de lengte ;
- De volheidscoëfficiënt is 0,90

In deze voorwaarden heeft men :

$$D = 0,075 L^3. \quad (42)$$

Substitutie hiervan in (16) geeft :

$$t_2 = 0,173 D^{0,171}. \quad (43)$$

Tabel VII geeft het verband tussen plaatdikte en displacement, berekend volgens formule (43). Wanneer de spantafstand groter is dan 50 cm moet de plaatdikte vergroot worden. Het is echter niet zeker of de plaatdikte nog evenredig moet zijn aan de spantafstand, of aan de wortel hieruit.

Voor de berekening van de plaatdikte tegen stoten, is het interessant eveneens de voorschriften van het reglement van Bureau Veritas van 1945 te raadplegen. Deze hebben namelijk in dit geval het voordeel dat de plaatdikte van lichters bepaald wordt door een langsnummer dat gelijk is aan LBT. Om hiervan het displacement af te leiden, moet men enkel de volheidscoëfficiënt invoeren. Verder geven de voorschriften van Bureau Veritas ook de plaatdikte voor de uiteinden van het schip, in een gebied dus waar geen rekening moet gehouden worden met de langssterkte.

Wanneer men weer een volheidscoëfficiënt veronderstelt van 0,90 bekomt men een kromme $t_2 = f(D)$ welke, alhoewel niet zeer regelmatig, toch nooit ver afwijkt van deze bepaald door formule (43). De twee krommen bezitten zelfs drie snijpunten.

HOOFDSTUK VII

Methode voor de vlugge berekening van de momentenlijnen.

Een der voornaamste redenen waarom in de meeste gevallen een gedetailleerde sterkteberekening wordt achterwege gelaten, is de langdradigheid hiervan.

Voor de berekening van de momentenlijn van een enkele ladingstoestand, volgens de methode uiteengezet in hoofdstuk 1, zijn reeds verscheidene uren nodig, naargelang de nauwkeurigheid welke men wil bekomen.

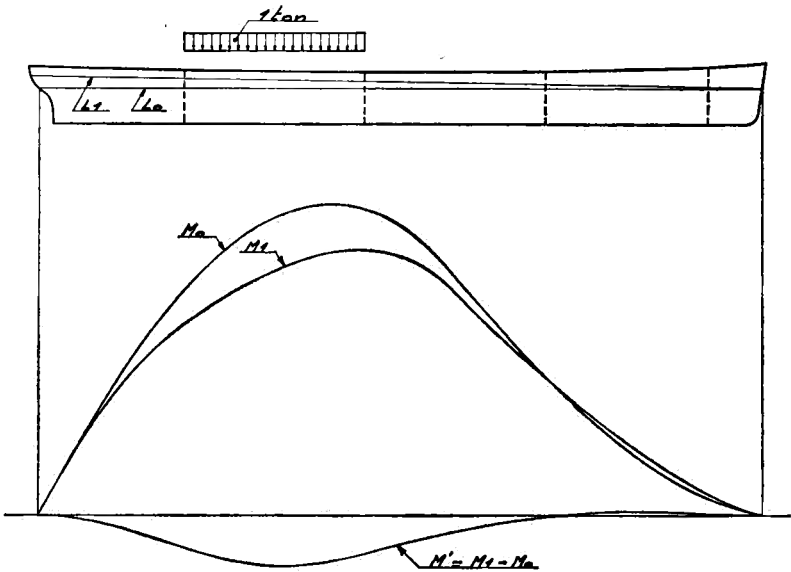
Daar men een vrachtschip op vele manieren kan beladen en daar ook de tussentoestanden gedurende het laden of lossen moeten worden onderzocht, is het nodig een groot aantal gevallen te berekenen.

Indien men een schip heeft met 5 ruimen en indien men het moment zou willen berekenen telkens men in een ruim 10 % van de capaciteit ervan heeft bijgeladen, zou men in het totaal 10.000 momentenlijnen moeten berekenen.

In de praktijk kan men een groot aantal van deze gevallen dadelijk elimineren, daar men onmiddellijk zonder berekening kan vaststellen of de momenten toelaatbaar zijn of niet. Toch blijft het aantal mogelijkheden nog zeer groot. In vele gevallen kan men gemakkelijk een honderdtal verschillende ladingstoestanden bedenken welke praktisch belang hebben en waarvan men zonder berekening niet kan zeggen of ze toelaatbaar zijn of niet. Voor de berekening van deze momentenlijnen kan men met voordeel gebruik maken van de volgende methode.

Men beschouwe een willekeurige ladingstoestand (*fig. 14*).

Weze de lastlijn L_0 , de belastingskromme P_0 en de momentenlijn M_0 . Deze elementen worden op de gewone manier berekend.

FIG. 14. — Bepaling van de M' lijn.

Wanneer men in een der ruimen een lading van 1 ton toevoegt, bekomt men een nieuwe lastlijn L_1 . Weze de overeenkomstige belastingskromme p_1 en de momentenlijn M_1 .

Men stelde :

$$p' = p_1 - p_0.$$

Men merkt op dat de p' kromme nog gelijk is aan het verschil tussen de toename per strekkende meter van het displacement en deze van het gewicht. Om p' te berekenen volstaat het dus de toename en de plaats van het gewicht en de vorm van de lastlijn te kennen.

Wanneer het een schip met verticale wanden betreft, is het duidelijk dat, wanneer men k ton toevoegt aan de lading, men heeft :

$$p_k = p_0 + kp'. \quad (44)$$

Indien men stelt :

$$M' = \int \int p' dx dx \quad (45)$$

volgt hieruit eveneens :

$$M_k = M_0 + kM'. \quad (46)$$

Indien men een schip heeft met n ruimen, kan men voor elk ruim de overeenkomstige M' lijn berekenen.

Wanneer men de momentenlijn M_0 kent voor een bepaalde ladingstoestand, bekomt men de momentenlijn M voor een willekeurige ladingstoestand bij middel van de volgende vergelijking :

$$M = M_0 + k_1 M'_1 + k_2 M'_2 + \dots + k_n M'_n \quad (47)$$

hierin is : k_i = gewichtstoename in ruim i .

Wanneer de lengte der ruimen betrekkelijk groot is, kan men eventueel de M' lijnen berekenen voor een half ruim, ten einde alle in de praktijk voorkomende gevallen te kunnen oplossen.

Wanneer de scheepswanden niet vertikaal zijn, geeft de formule geen nauwkeurige resultaten. De benadering is echter tamelijk goed, wat blijkt uit het volgende voorbeeld.

Men veronderstelt een schip van 80×10 m. De gemiddelde helling der vertikalen aan de uiteinden weze 45° . Wanneer de diepgang toeneemt met 1 m, vergroot de lengte dus 2 m. Men kan gemakkelijk aantonen dat in dit geval formule (47) aanleiding geeft tot een fout van ten hoogste 101,6 *tm* in het midden van het schip. Deze fout is te vergelijken met een toelaatbaar moment van ongeveer 1 200 *tm*. Indien men slechts een diepgangshoging van 0,50 m beschouwt, wordt de fout 4 maal kleiner.

Wanneer de fout ten gevolge van de schuinte der scheepswanden te groot wordt, volstaat het M_0 en M' lijnen te berekenen voor 2 of meer diepgangen zodanig dat de verandering van diepgang steeds beperkt blijft.

De M' lijnen kunnen onder de volgende vorm gebracht worden :

$$M' = P L f(x_1; x) \quad (48)$$

waarin : M' = moment in *tm*.

L = gemiddelde lengte der lastlijn in m.

P = lading in ton, welke kan verdeeld zijn over een zekere lengte of eventueel gelokaliseerd in één punt.

x = abscis van het punt waar het moment M' wordt berekend.

x_1 = abscis van het zwaartepunt van P ; zowel x als x_1 worden uitgedrukt in % van L .

De functie $f(x_1; x)$ is enkel afhankelijk van de vorm van de lastlijn. Men kan gemakkelijk aantonen dat deze functie van de eerste graad is in x_1 en van de derde graad in x , althans in het gebied waar de breedte van de lastlijn konstant is.

Voor een trapeziumvormige lastlijn met gemiddelde lengte L en een puntlast P heeft de functie de volgende gedaante :

$$f(x_1; x) = x^3 \frac{2}{X} (0,5 - x_1) - x^2 \left[\frac{3}{X} (0,5 - x_1) + 0,5 \right] - x \frac{2c^2}{X} (0,5 - x_1) - \frac{c^2}{6} - \frac{c^2}{X} (0,5 - x_1) \dots + (x - x_1) \quad (49)$$

$$\text{waarin : } c = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{a} - 1 \right). \quad (50)$$

a = volheidscoëfficiënt van de lastlijn.

$$X = 1 + 4c^2 = 2 - \frac{2}{a} + \frac{1}{a^2}. \quad (51)$$

Met de laatste term van formule (49), $(x - x_1)$, moet slechts rekening worden gehouden als $x > x_1$. Positieve waarden van de functie stemmen overeen met opbuigende momenten (trekspanning in het dek).

De coëfficiënt X uit formule (51) kan gebruikt worden om het traagheidsmoment I van de lastlijn als volgt te berekenen :

$$I = X \frac{B L^3}{12}. \quad (51)$$

De betrekkingen (49) tot (52) zijn ook toepasselijk, met een zeer goede benadering, op waterlijnen van willekeurige vorm. In dit geval is L weer de gemiddelde lengte, welke berekend wordt als volgt :

$$L = \frac{0}{B} \quad (53)$$

waarin : 0 = oppervlakte van de lastlijn.

B = breedte.

Ter illustratie van de geringe invloed van de volheid van de lastlijn op de functie $f(x_1; x)$, moge het volgende voorbeeld volstaan.

Voor $x = x_1 = 0,5$ geeft formule (49) 0,127 voor $a = 0,80$ en 0,125 voor $a = 1,00$. Een verandering van a van 20 % geeft dus aanleiding tot een verandering van minder dan 2 % van $f(x_1; x)$.

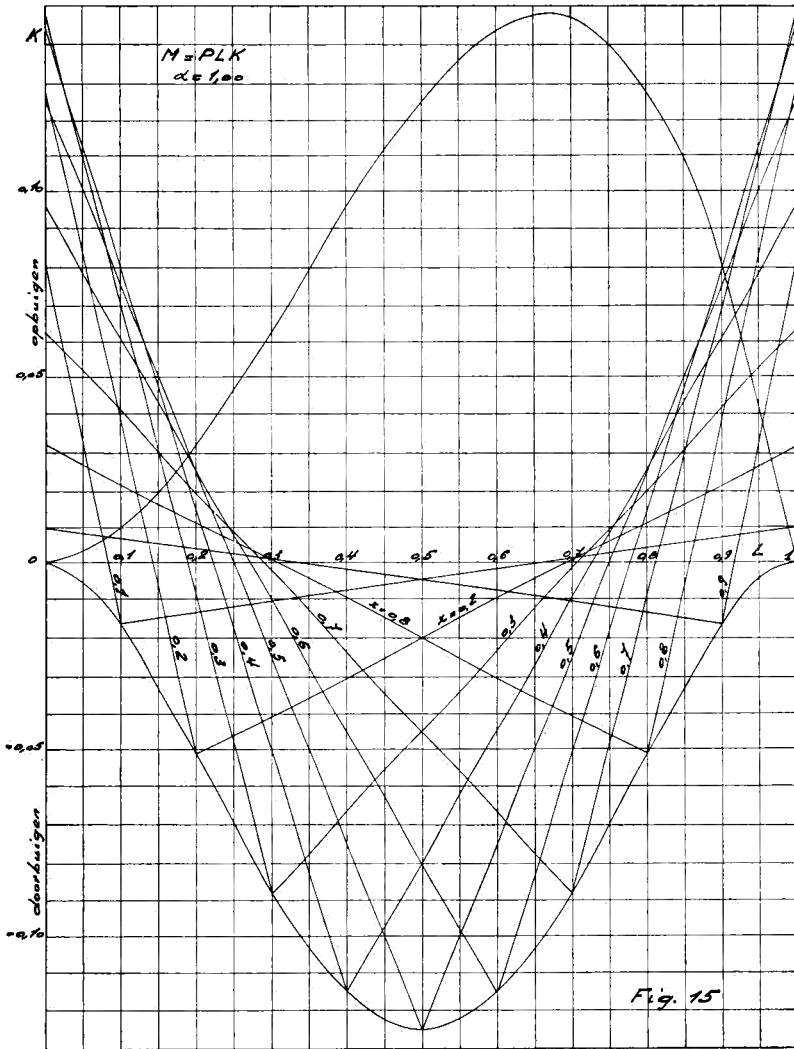


FIG. 15. — Invloedslijnen voor de bepaling van M' . $\alpha = 1,00$.

In *fig. 15* en *16* zijn de invloedslijnen voorgesteld van de momenten in de punten $0, 0,1 L, 0,2 L$, enz., voor schepen met een coëfficiënt α van respectieffijk 1 en 0,80. Deze lijnen werden berekend bij middel van formule (49). Daar de functie $f(x_1; x)$ lineair is in x_1 , zijn de invloedslijnen alle rechte lijnen. Van deze

diagrammen kan als volgt worden gebruik gemaakt voor de berekening van M' lijnen.

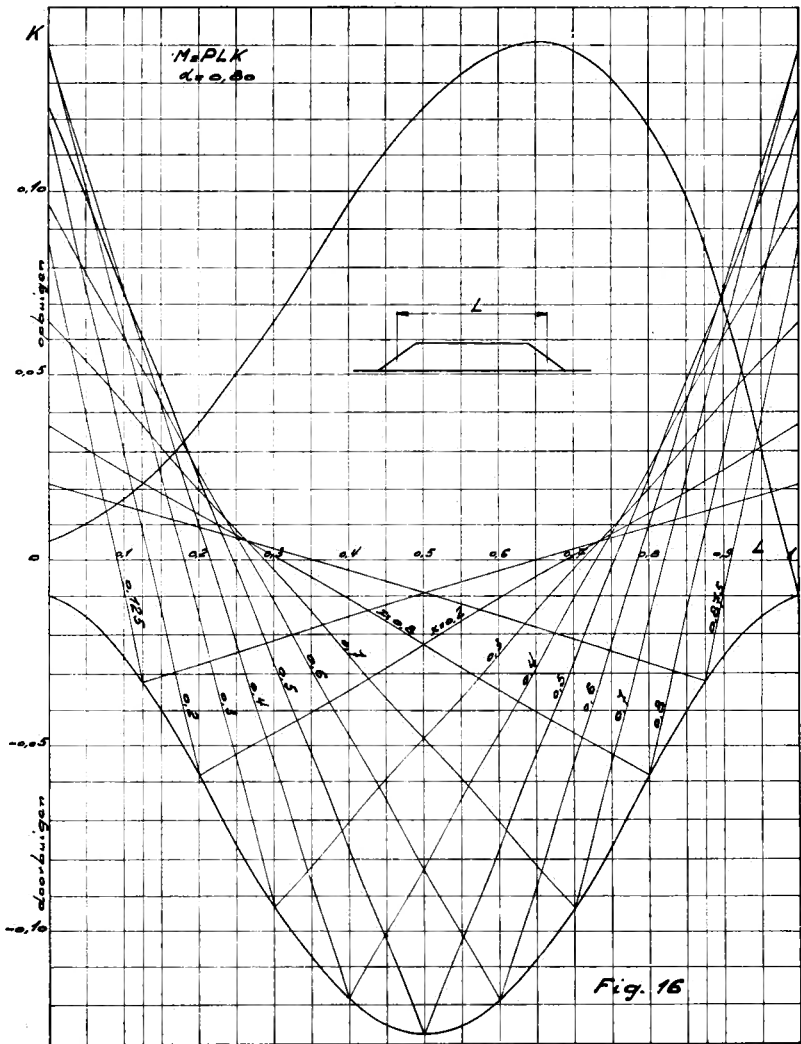


FIG. 16. — Invloedslijnen voor de bepaling van M' . $a = 0,80$.

1) *Berekening van een M' lijn voor een puntlast.*

Veronderstellen we een gewicht P , gelegen in het midden van

ruim n^r 3 van een schip, in een punt met abscis 0,25 L. De volheidscoëfficiënt van de lastlijn bedraagt 1,00.

In *fig. 15* leest men op de verschillende invloedslijnen de volgende momenten af :

abscis in % L :

0 10 20 25 30 40 50 60 70 80 90 100

$$1000 k = \frac{1000 M}{P L} :$$

0 -12 -46 -69 -49 -18 -1 +7 +8 +6 +2,6 0

De alzo bekomen momentenlijn is voorgesteld in *fig. 17*.

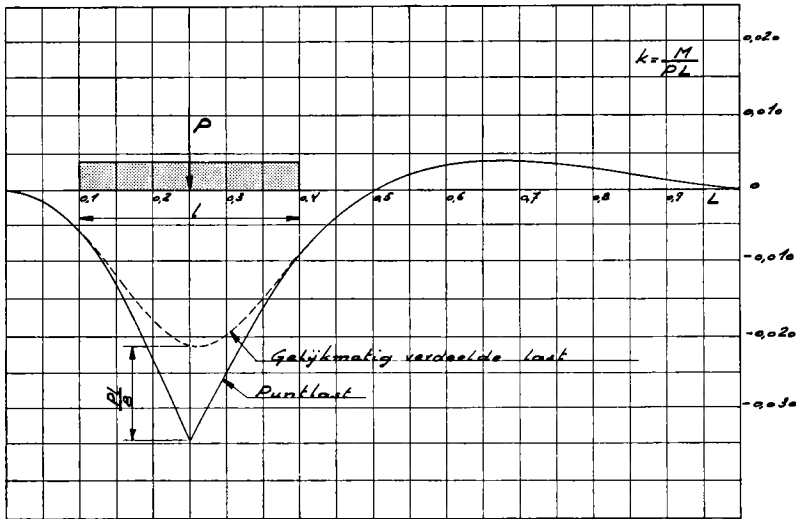


FIG. 17. — Berekening van een M' lijn voor een puntlast en voor een gelijkmatig verdeelde last.

2) Berekening van een M lijn voor een gelijkmatig verdeelde last.

Veronderstellen we hetzelfde geval als hierboven, maar het gewicht P is nu gelijkmatig verdeeld over een lengte l gaande van 0,10 tot 0,40 L.

Daar het zwaartepunt niet veranderd is, zal, buiten het gebied van de last, de momentenlijn dezelfde blijven. In het gebied

van de last moet een korrektie toegepast worden welke een paraboolvormig verloop heeft een waarvan het maximum $\frac{Pl}{8}$ bedraagt ter plaatse van het zwaartepunt (*fig. 17*).

Van *fig. 15* werd door de auteur dezes herhaaldelijk gebruik gemaakt voor de berekening van een zeer groot aantal momentenlijnen voor verschillende duwbakken op de Congostroom. Het betrof hier meestal schepen met 3 of 4 ruimen welke voor de berekening in twee werden gedeeld, zodat men 6 of 8 M' lijnen bekam. Door combinatie hiervan kon men met voldoende benadering alle in de praktijk voorkomende ladings-toestanden verwezenlijken. Voor elk schip werden alzo 100 à 150 momentenlijnen berekend.

Men kan nu de vraag stellen op welke manier men de resultaten dezer berekeningen in de praktijk kan toepassen. Het is duidelijk dat het niet volstaat aan het scheeps- of havenpersoneel eenvoudig de tabellen met de toelaatbare en de niet toelaatbare gevallen ter hand te stellen.

In sommige gevallen is het echter mogelijk uit het resultaat der berekeningen eenvoudige regels af te leiden welke gemakkelijk kunnen toegepast worden. Voor een schip met 4 ruimen bekam men in een bepaald geval het volgende :

— Het verschil tussen de lading in de middenste en de buitenste ruimen moet kleiner zijn dan...

— Het verschil tussen twee pare of tussen twee onpare ruimen moet kleiner zijn dan...

In andere gevallen, vooral wanneer de langsterkte niet al te groot is, is men verplicht nauwkeurige voorschriften te geven betreffende de volgorde waarin de ruimen moeten geladen of gelost worden.

Voor de duwbakken van 250 ton, welke een zeer kleine langsterkte hadden, (*tabel VI*), werd de volgorde als volgt vastgesteld :

- Ruim 1 achter ;
- Ruim 3 voor ;
- Ruim 1 voor ;
- Ruim 2 voor ;
- Ruim 3 achter ;
- Ruim 2 achter.

De juiste kennis van de toelaatbare ladingstoestanden kan in sommige gevallen aanzienlijke besparingen toelaten bij het laden en lossen. Zo komt het regelmatig voor dat een schip de haven verlaat met onvolledige lading en dat onderweg een partij goederen moet bijgelaten worden, welke men volledig gescheiden zou willen houden van de rest van de lading. De vraag is dan of het schip de haven mag verlaten met 1 ruim ledig en de andere gevuld.

Hetzelfde probleem doet zich voor wanneer het schip op verschillende plaatsen moet lossen. Het komt zelfs voor dat men niet op voorhand weet welke goederen op een bepaalde plaats zullen gelost worden, zodat het niet mogelijk is het schip op een oordeelkundige manier te laden.

In al deze gevallen kan de voorgestelde berekeningsmethode dienst bewijzen, omdat zij toelaat op voorhand een zeer groot aantal ladingstoestanden te berekenen, of eventueel op het ogenblik zelf de nodige berekeningen uit te voeren, wat in enkele minuten kan geschieden.

BIJLAGE I

Transactions of the Society of naval Architects — 1959.

A STATISTICAL APPROACH TO THE LONGITUDINAL STRENGTH MODULUS OF SHIPS

by professor E. V. TELFER.

Contribution to the discussion by E. CUYPERS.

I have been greatly interested in the work of professor TELFER, seeing that a short time ago I made an analogous study concerning the longitudinal strength of inland boats.

The statistical method appears to me well indicated for the study of this problem.

In fact, at present, notwithstanding many experimental and theoretical studies, the permissible hull stresses in a boat are still not well determined.

This is equally true to a certain extent as regards inland boats, where, however, the problem of the waves encountered does not arise ; the bending moment on these boats thus depends mainly on the distribution of the cargo. For a given condition of loading, the moment could be calculated without much difficulty. But in practice these calculations are usually never made, so that everything is arranged as if the moments were unknown. Also, for the owner of an inland boat, it is more important for him to know whether the strength of his boat is comparable with that of other boats of the same type than to know the exact value of the moment which the hull can withstand.

I think the same problem arises with sea-going ships, and for this reason the study of professor TELFER appears to me very interesting.

I am, however, not entirely in agreement with certain details of his work.

1) *The form of the formula* $Z = 220 B L^2 d^{2/3}$.

This formula is based on the formula $Z = m_1 B d L^{5/3}$ deduced from the works of the 1913 Conference.

Professor TELFER criticises the latter formula because, according to this, the modulus Z is proportional to the draught d .

He does not, however hesitate to deduce from this his own formula, by accepting: $d = \text{Cte } L$.

I cannot fully understand why the formula thus obtained should be better than the original.

Supposing $d = \text{Cte} \times B$ or $d = \text{Cte} \times L$, it would have been possible to obtain in the same way:

$$Z = m_2 B^2 L^{5/3}$$

$$Z = m_3 L^{11/3}$$

$$Z = m_4 d^{11/3}, \text{ etc.}$$

Moreover, in the Appendix professor TELFER discovers that in the basic formula the exponent of L is not correct either, though this does not lessen his confidence in the formula which he has derived from it.

Obviously, all this does not prove that the formula $Z = 220 B L^2 d^{2/3}$ is not reliable, but if it is reliable it would be rather a matter of chance.

I think also that in the formule the hold depth D should appear. In effect, to obtain a given modulus Z , an increase of the depth allows a reduction in the thickness of the plating. But reducing the thickness of the plating lowers the strength under buckling. Consequently, when the depth is increased, it is necessary at the same time to increase the modulus to preserve a given longitudinal strength.

Before finally adopting the formula proposed, it seems to me prudent to check, either by a statistical study or by calculation, the value of the exponents of L , B , D , and d .

2) *The antiquity of the basic calculations.*

It seems to me that it would have been preferable to use, when establishing the formula, the present regulations of the

Classification Societies and not the results of the 1913 Conference, which were based, *inter alia*, on the Lloyd's Regulations of 1885.

3) *Influence of longitudinal frames.*

According to professor TELFER, the influence of the longitudinal frames on the longitudinal strength would be small.

Personally, I think in calculating the strength of boats of longitudinal construction, it is necessary to take into consideration not only the total section of the frames for the calculation of the modulus, but also to accept a higher buckling stress.

The firm for whom I work owns six tanker barges of longitudinal construction. When their tanks are filled, the deck is subject to a compressive stress of 10 kg/mm². The thickness of the plates is 7,5 mm. With transverse frames, they would not withstand so great a stress. If the frames were spaced 0,50 m, the allowable buckling stress of the plates would be 4,35 kg/mm².

Finally, I give below a summary of my study of the longitudinal rigidity of inland boats.

Taking as a basis the prescriptions of the German-Lloyd Regulations of 1953, I have calculated the modulus Z in cm³ 48 boats.

The dimensions were between the following limits :

Length L between 20 and 101 m.

The ratio length/depth L/D between 15 and 35.

The ratio width/depth B/D between 3 and 5.

I also assumed in the calculations a displacement, Δ in m³, based on a coefficient of fineness of 0,90, thus : $\Delta = 0,90 L B d$.

The modulus values obtained agree with very close approximation to the following formula :

$$Z = 616 \Delta^{0,97} L^{-0,41}.$$

The negative value of the exponent of L appears odd at first sight, but can be justified.

To simplify the formula, it may be accepted that the length is proportional to the cube root of the displacement. We then have :

$$Z = 300 \Delta^{0,84}.$$

The latter formula gives moduli too high for boats of great length.

The preceding formulae presume a draught equal to the depth, namely, $d = D$. When the draught is shallow, the modulus should be multiplied by a correction factor $(D/d)^{0.5}$ obtained from theoretical considerations.

The preceding formulae than become :

$$Z = 616 \Delta^{0.97} (D/d)^{0.5} L^{-0.41}$$

and

$$Z = 300 \Delta^{0.84} (D/d)^{0.5}.$$

All the above formulae are valid only for boats with hatches of relatively short length, so that the coamings do not influence the longitudinal strength.

The barges on the river Congo have a displacement of between 50 and 1500 tons and a modulus which on the average is 80 % of that obtained by the above formulae. In general, the longitudinal strength of these boats has proved satisfactory. Of course, certain precautions have to be taken as regards loading.

The barges with the least strength are those of 200 tons, the modulus of which reaches only 65 % of the value recommended. About ten barges of this type have been in service since 1956. Special instructions have been given regarding the distribution of the cargo to avoid accidents.

Leopoldville, July 1959.

BIJLAGE II

De voorschriften voor binnenschepen van Bureau Veritas van 1960.

Deze studie was reeds geheel klaar wanneer in het begin van 1961 het nieuwe reglement van Bureau Veritas verscheen.

Dit reglement bevat geheel nieuwe voorschriften welke gebaseerd zijn op de sterkteleer en rekening houden met de voornaamste optredende belastingen. Gezien de grote vooruitgang welke in dit opzicht werd verwezenlijkt, is het nuttig er hier enkele beschouwingen aan te wijden.

Een aantal diagrammen laat toe de plaatdikte van huid en dek te bepalen waarbij in de eerste plaats aandacht wordt geschonken aan de langsterkte.

Voor de eerste maal houden de klassifikatievoorschriften hier rekening met de langsscheepse gewichtsverdeling van de romp, de lading en de machineinstallatie. De volgende veronderstellingen worden gemaakt :

— De lading is gelijkmatig verdeeld over de ganse lengte van de ruimen ;

— Bij het laden en lossen worden de nodige voorzorgen genomen zodanig dat het maximum buigmoment zich voordoet wanneer het schip geheel ledig is of geheel geladen.

De berekening der plaatdikten is gebaseerd op de volgende gegevens :

— De hoofdafmetingen : lengte, breedte, holte, diepgang ;

— De volheidscoëfficiënt ;

— Het gewicht van de machineinstallatie ;

— De lengte van de scheepsuiteinden waarin geen lading wordt gestuwd.

Het is duidelijk dat aan de hand van deze gegevens, op voorwaarde dat aan bovenstaande veronderstellingen voldaan is, het buigmoment met een zeer goede benadering kan geschat worden.

Wanneer de motor in het achterschip is opgesteld, is het maximum moment positief (opbuiging), wanneer het schip ledig is en negatief (doorbuiging) wanneer het schip geladen is.

Voor de berekening van de plaatdikten worden de koëfficiënten N en K ingevoerd, welke klaarblijkelijk overeenkomen met het opbuigend en het doorbuigend moment. Bovendien schijnt tussen K en het doorbuigend moment M het volgende verband te bestaan :

$$M = \frac{K}{1000} L^2 B T. \quad (54)$$

Wanneer de voorschriften toegepast worden op motorvrachtschepen zoals deze in Europa uitgevoerd worden, bekomt men afmetingen welke zeer goed overeenstemmen met deze welke normaal toegepast worden.

Voor de berekening echter van lichters, waarvan de lengte van de laadruimen 90 % of meer van de scheeps lengte bedraagt, hetgeen aanleiding geeft tot K -waarden van 2 tot 6, bekomt men, naar het oordeel van de auteur dezes, een te kleine langsterkte. Dit is een gevolg van het feit dat in dit geval het niet meer mogelijk is bij het laden en lossen voldoende voorzorgen te nemen om het maximum moment niet te overschrijden.

Wanneer men aan de koëfficiënt K de waarde 10 toekent, wat overeenkomt met een lengte van de laadruimen van 76 % van de scheeps lengte bij een volheidskoëfficiënt van 0,90, bekomt men een weerstandsmodulus welke tamelijk goed overeenkomt met formule (34).

Tabel VIII geeft enkele berekende waarden.

Men constateert dat de verhouding B/H een invloed op de weerstandsmodulus heeft welke zelfs nog merkkelijk groter is dan bij *Germanischer Lloyd*. Voor een lengte van 40 m en voor een willekeurig displacement is de weerstandsmodulus voor een B/H verhouding van 3 ongeveer 45 % groter dan voor de verhouding $B/H = 5$. Ook hier heeft men de indruk dat dit niet bedoeld werd door de opsteller van de voorschriften.

Daar formule (54) toelaat de overeenkomstige buigmomenten

Tabel VIII — Langssterkte volgens Bureau Veritas 1960.

L	Hoofdafmetingen in m			K	I/V in cm ³		Spanning kg/cm ²		Veiligheids- coëfficiënt	
	B	H	T		Depl. in m ³	Form (34)		Veritas		σ_k (Montg)
						Veritas	Form (34)			
20	4,00	1,33	1,33	95	10	12 640	12 000	168	590	3,51
20	6,66	1,33	1,33	159	10	16 300	18 500	218	850	3,90
40	8,00	2,66	2,66	765	10	63 000	70 500	540	964	1,79
40	13,30	2,66	2,66	1 272	10	71 200	108 800	794	1 140	1,44
40	4,80	1,60	1,60	294	10	25 000	31 200	492	827	1,68
40	8,00	1,60	1,60	490	10	28 800	49 500	711	964	1,36
60	12,00	4,00	4,00	2 590	10	200 000	199 000	865	1 510	1,75
60	7,50	4,00	4,00	1 620	10	174 000	135 000	620	1 312	2,12
60	12,00	2,40	2,40	1 556	10	91 100	128 800	1 140	1 510	1,33
60	7,50	2,40	2,40	972	10	77 600	86 700	975	1 312	1,34
60	7,50	3,12	2,40	972	10	105 000	98 900	720	1 250	1,74
60	7,50	2,40	2,40	972	25	120 400	86 700	1 400	2 000	1,43
60	7,50	3,12	2,40	972	25	130 400	98 900	1 300	1 740	1,34
60	12,00	1,72	1,72	1 115	10	60 100	97 000	1 240	1 510	1,22
60	7,50	1,72	1,72	696	10	50 200	65 000	924	1 312	1,42
80	16,00	4,00	4,00	4 600	10	336 000	325 000	1 220	2 180	1,79
80	10,00	4,00	4,00	2 880	10	235 200	217 500	1 090	1 680	1,54
80	16,00	3,20	3,20	3 680	10	242 000	270 000	1 355	2 180	1,61
80	10,00	3,20	3,20	2 300	10	164 000	180 000	1 250	1 680	1,34
80	16,00	2,50	2,50	2 880	10	175 900	217 500	1 178	2 180	1,85
80	10,00	2,50	2,50	1 800	10	116 400	148 000	1 080	1 680	1,55

in de scheepsromp weer te vinden, kan men ook de toelaatbare spanningen berekenen. Deze zijn eveneens aangeduid in *tabel VIII*, alsook de knikspanning volgens MONTGOMMERIE, berekend voor het gangboord en de denneboom. Men constateert dat de knikspanning in de meeste gevallen gelegen is tussen 1,3 en 1,6 maal de bedrijfsspanning. Dit komt dus goed overeen met de veiligheidscoëfficiënt van 1,5 welke hierboven in hoofdstuk III werd aangenomen voor de berekening van schepen op de Congostroom.

Uit het voorgaande kan men besluiten dat men door toepassing van de nieuwe voorschriften van Bureau Veritas een doelmatige langsterkte bekomt welke rekening houdt met de werkelijk optredende buigmomenten, maar dat, om rekening te houden met een min of meer onregelmatige verdeling van de lading, welke in de praktijk niet te vermijden is, het nuttig zou zijn voor de coëfficiënt K een minimumwaarde te voorzien welke ongeveer 10 zou moeten bedragen.

April 1961.

BIBLIOGRAFIE

- [1] ARKENBOUT SCHOKKER, J.-C. : The design of merchant ships (Haarlem 1953).
- [2] JAEGER, H.-E. : La détermination des dimensions des tôles (*Bulletin technique du Bureau Veritas*, februari 1954).
- [3] MONTGOMMERIE, J. : The Shipbuilder (1934).
- [4] Règlement pour la construction et la classification des navires destinés à la navigation intérieure. 1945 (Administration du Bureau Veritas, 31, Rue Henri Rochefort, Paris XVII^e).
- [5] TELFER, E.-V. : A statistical approach to the longitudinal strength modulus of ships (Transactions of the Institution of Naval Architects, 1959).
- [6] Vorschriften für Klassifikation und Bau von stählernen Binnenschiffen (*Germanischer Lloyd*, Hauptverwaltung, Hamburg, 1953).
- [7] Voorschriften voor de Classifikatie en de Bouw van stalen binnenschepen (UNITAS, Belgisch Classifikatiekantoor voor de Binnenscheepvaart, Brouwersvliet, 25, Antwerpen).
- [8] WESTCOTT, Abel : Some questions, in connection with the work of the Loadline Committee (Transactions of the Institution of Naval Architects, 1926).

INHOUDSTAFEL

RÉSUMÉ	3
SAMENVATTING	4
INLEIDING	5
HOOFDSTUK I. Algemene gang der sterkteberekening	7
II. Toelaatbare spanning	10
III. De formule van MONTGOMMERIE	15
IV. Benaderingsformule voor de berekening van I/V	20
V. Empirische formules voor de berekening van I/V	24
VI. De bepaling der plaatdikte rekening houdend met de plaatselijke belasting	38
VII. Methode voor de vlugge berekening van M- lijnen	41
BIJLAGE I. A statistical approach to the longitudinal strength modulus of ships. Diskussie	50
II. De voorschriften voor binnenschepen van Bureau Veritas van 1960	54
BIBLIOGRAFIE	58

Achévé d'imprimer le 19 février 1962.
par les Editions J. DUCULOT, S. A., Gembloux (Belgique).